



TUGAS AKHIR - TF 091381

ANALISIS KENYAMANAN TERMAL DAN KONSUMSI ENERGI PADA RUMAH TIPE FASAD BATA DAN KAYU DI SURABAYA

RIZKY NANDA PUSPITASARI
NRP. 2410100011

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ridho Hantoro, S. T., M. T.
Dr.Eng. Ir. Sri Nastiti N. E., M. T.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014

Halaman ini memang dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 091381

***THERMAL COMFORT AND ENERGY
CONSUMPTION ANALYSIS OF HOUSE WITH
BRICK FACADE AND WOOD FACADE IN
SURABAYA***

RIZKY NANDA PUSPITASARI
NRP 2410 100 011

SUPERVISOR
Dr. Ridho Hantoro, S. T., M. T.
Dr. Eng. Ir. Sri Nastiti N. E., M. T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

This page intentionally left blank

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KENYAMANAN TERMAL DAN KONSUMSI ENERGI PADA RUMAH TIPE FASAD BATA DAN KAYU DI SURABAYA

TUGAS AKHIR

Oleh:

RIZKY NANDA PUSPITASARI
NRP 2410 100 011

Surabaya, Juli 2014
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIP. 19761223 200501 1 001



Dr. Eng. Ir. Sri Nastiti N.E., M.T.
NIP. 19611129 198601 2 001



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA
NIP. 19650309 199002 1 001



**ANALISIS KENYAMANAN TERMAL DAN KONSUMSI
ENERGI PADA RUMAH TIPE FASAD BATA DAN KAYU
DI SURABAYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan
Program Studi S - 1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

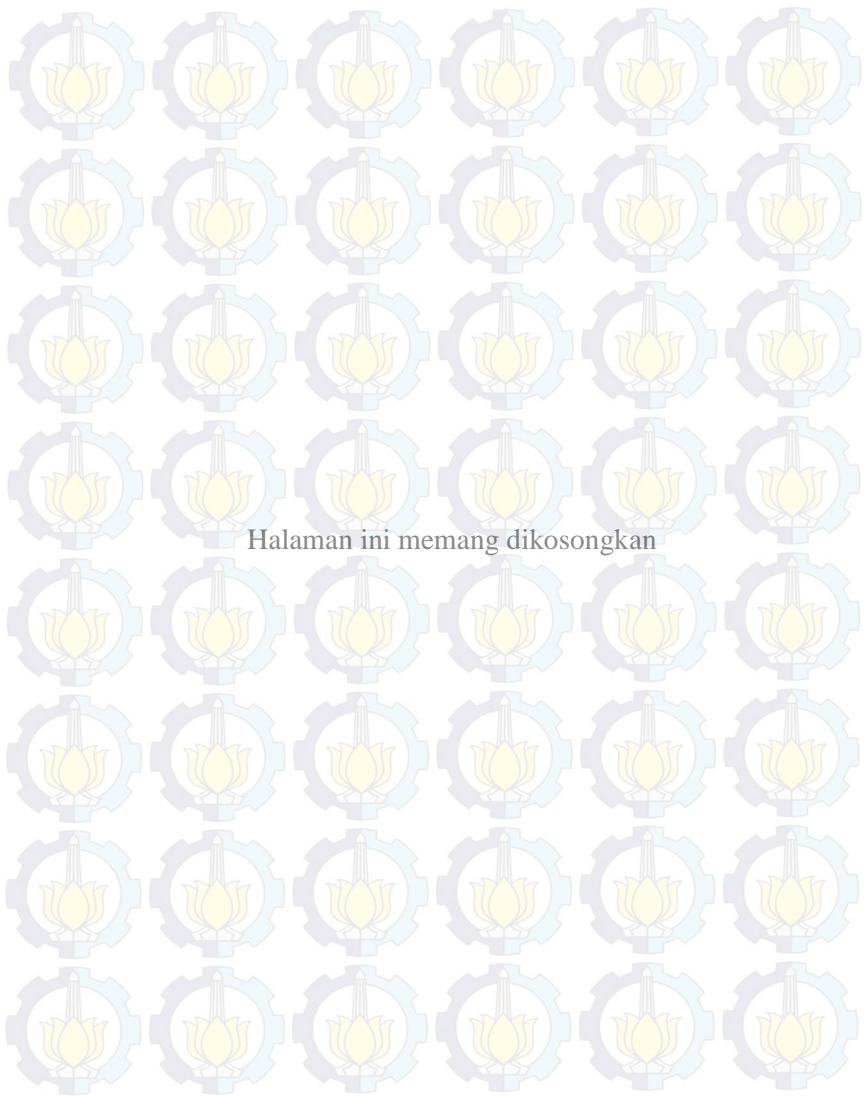
Oleh:

RIZKY NANDA PUSPITASARI
NRP 2410 100 011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|---------------------------------------|---|---------------|
| 1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. |  | Pembimbing I |
| 2. Dr. Eng. Ir. Sri Nastiti N.E., M.T |  | Pembimbing II |
| 3. Ir. Sarwono, M.M |  | Penguji I |
| 4. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA |  | Penguji II |
| 5. Totok Ruki B., S.T., M.T., Ph.D |  | Penguji III |
| 6. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T |  | Penguji IV |
| 7. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc |  | Penguji V |

SURABAYA
JULI, 2014



ANALISIS KENYAMANAN TERMAL DAN KONSUMSI ENERGI PADA RUMAH TIPE FASAD BATA DAN KAYU DI SURABAYA

Nama Mahasiswa : RIZKY NANDA PUSPITASARI
NRP : 2410 100 011
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T
Dr.Eng. Ir. Sri Nastiti N.E., M.T.

Abstrak

Hunian atau tempat tinggal memiliki banyak tipe dan jenis dengan berbagai arsitektur. Hal paling penting dari bangunan hunian adalah fasad. Material fasad yang dapat dijumpai di Indonesia umumnya adalah fasad dari batu bata dan fasad dari kayu. Perbedaan kalor yang dapat masuk dalam rumah ini dipengaruhi oleh perbedaan konduktifitas termal dari material penyusun dinding. Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan analisis kenyamanan termal dari rumah dengan fasad batu bata dan rumah dengan fasad kayu. Kenyamanan termal dapat terwakili oleh besarnya beban kalor selubung (OTTV) dan beban pendinginan. Dari hasil simulasi didapat nilai beban kalor selubung paling kecil dari rumah kayu adalah menghadap tenggara dengan nilai $44,19 \text{ W/m}^2$ sedangkan rumah bata menghadap arah selatan dengan nilai $39,12 \text{ W/m}^2$. Hasil simulasi ini dipengaruhi oleh nilai *incident solar radiation*. Untuk hasil perhitungan didapatkan nilai OTTV rumah kayu lebih besar dari pada OTTV rumah bata. Hal ini dipengaruhi oleh ketebalan dinding rumah kayu yang lebih tipis dari ketebalan dinding rumah bata. Ketebalan dinding ini berpengaruh pada nilai transmitansi termal atau kemampuan dinding untuk menghantarkan kalor. Nilai kalor yang dihantarkan oleh selubung bangunan akan menjadi beban panas yang nantinya akan menjadi beban pendinginan pada proses pendinginan. Dengan menggunakan metode CLTD didapatkan bahwa untuk objek rumah kayu dengan orientasi menghadap barat memiliki beban pendinginan paling kecil, sedangkan objek rumah bata pada arah orientasi timur.

Kata kunci : *material fasad, hunian, kenyamanan termal, OTTV, beban pendinginan*



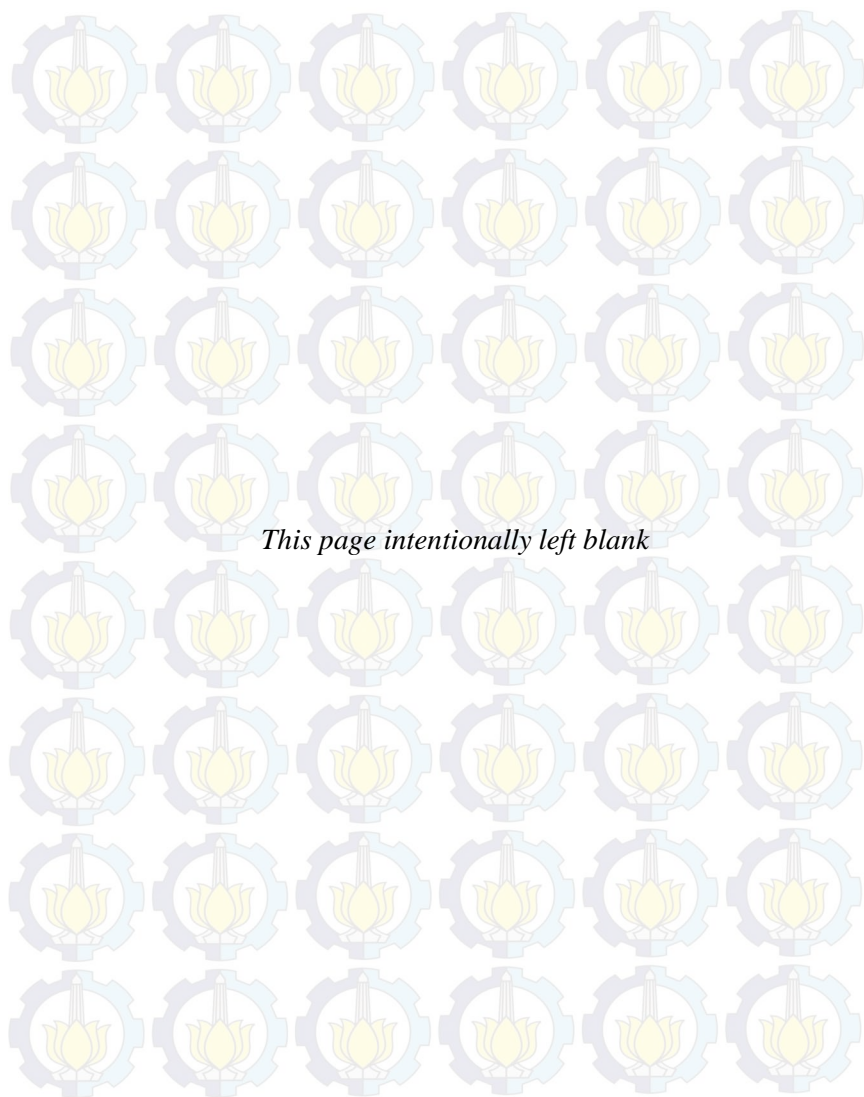
THERMAL COMFORT AND ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS OF HOUSE WITH BRICK FACADE AND WOOD FACADE IN SURABAYA

Name : RIZKY NANDA PUSPITASARI
NRP : 2410 100 011
Department : Engineering Physics, FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Dr.Eng. Ir. Sri Nastiti N.E., M.T.

Abstract

Dwelling or residence has many types with different architectures. The most important thing is the building facade. Facade materials that can be found in Indonesia in general is a facade of brick and wood. The difference of heat that can fit in this house is influenced by differences in the thermal conductivity of the material that making up the wall. In this research analyzed the thermal comfort of home with brick facade and houses with wooden facades. Thermal comfort can be represented by the heat load through facade (OTTV) and cooling loads. From the simulation results obtained the smallest heat gain through wall load of wooden houses is facing southeast with a value of 44.19 W/m² while the brick house facing south with a value of 39.12 W/m². The simulation results are affected by the incident solar radiation. For calculation, results obtained OTTV value for the wooden house is greater than the brick house. It is influenced by the thickness of the walls of a wooden houses is thinner than the thickness of the wall of a brick house. The wall thickness affects the thermal transmittance value of the wall or the ability to conduct heat. The heating value is delivered by the building envelope will be the heat gain that would be the cooling load on the cooling process. By using CLTD found that for objects observation wooden house that facing West orientation has the lowest cooling load, and the brick house has lowest cooling load when facing East orientation.

Keywords : facade material, dwelling, thermal comfort, OTTV, cooling load



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Agung dan Maha Bijaksana. Atas berkah, petunjuk dan karunia-Nya penulis mampu untuk melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ANALISIS KENYAMANAN TERMAL DAN KONSUMSI ENERGI PADA RUMAH TIPE FASAD BATA DAN KAYU DI SURABAYA”.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan bagi seorang mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS.
2. Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T. dan Dr.Eng. Ir. Sri Nastiti N.E,M.T., selaku pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Sarwono, M.M, selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika ITS yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah sampai tugas akhir ini.
5. Ayah, Ibu, dan adik-adik saya yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ir. Asjhar Imron, M.Sc, M.SE, PED, selaku pemilik rumah dengan fasad kayu atas ijin untuk menjadikan rumah beliau sebagai objek penelitian
7. Siti Cholifah, selaku pemilik rumah dengan fasad tembok bata atas ijin untuk menjadikan rumah beliau sebagai objek penelitian

8. Teman – teman Kelompok Studi Energi Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan, terima kasih atas segala bantuan dan hiburan ditengah-tengah penyelesaian tugas akhir ini.
9. Renda, Esti, Fahmi, Azmi, Susilo, Gege, Hari, Rois, Riyo dan teman-teman TA-wan dan TA-wati bidang minat Rekayasa Energi yang lain, atas semangat juang bersama-sama sampai akhir untuk penyelesaian tugas akhir periode ini.
10. Mahasiswa mata kuliah Rekayasa Kenyamanan Termal (Faisal, Fitria, Siti, Faruq, Ramadhania, dan Zhua) yang telah berjuang bersama-sama selama kuliah rekayasa kenyamanan termal.
11. Herny Ariesta dan Maghfirotul Izzah terima kasih telah mau direpotkan keliling kesana-kemari untuk proses pengambilan data.
12. Seluruh mahasiswa Teknik Fisika, khususnya teman-teman angkatan 2010, terima kasih atas segalanya
13. Semua pihak yang turut membantu terselesaikannya tugas akhir ini, terima kasih banyak.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidaklah sempurna, tetapi penulis berharap ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan dapat menambah wawasan bagi pembaca dan mahasiswa Teknik Fisika yang nanti dapat digunakan sebagai referensi pengerjaan Tugas Akhir baru. Semoga awal dari permulaan yang panjang ini dapat membawa manfaat dan hikmah bagi kita semua dan juga semoga hari esok lebih baik dari hari ini.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	v
Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xix
Daftar Notasi	xxi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Kalor dan Perpindahan Kalor	5
2.2 Perilaku Termal Bangunan	6
2.3 Kenyamanan Termal	15
2.3 Beban Pendinginan.....	16
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 19
3.1 Tahap Pengerjaan Tugas Akhir	19
3.2 Objek yang Diambil Sebagai Sampel	21
3.3 Variabel yang digunakan.....	25
3.4 Tahap Simulasi dan Perhitungan	26
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 35
4.1 Analisa Beban Kalor dari Selubung	35
4.2 Analisa Beban Pendinginan.....	42
4.3 Analisa Kenyamanan Termal	46

BAB V PENUTUP.....	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN A PERHITUNGAN BEBAN SELUBUNG BANGUNAN (OTTV)	A - 1
LAMPIRAN B PERHITUNGAN BEBAN PENDINGINAN (<i>COOLING LOAD</i>)	B - 1
LAMPIRAN C LANGKAH-LANGKAH SIMULASI DI <i>ECOTECH ANALYSIS</i>	C - 1

DAFTAR GAMBAR

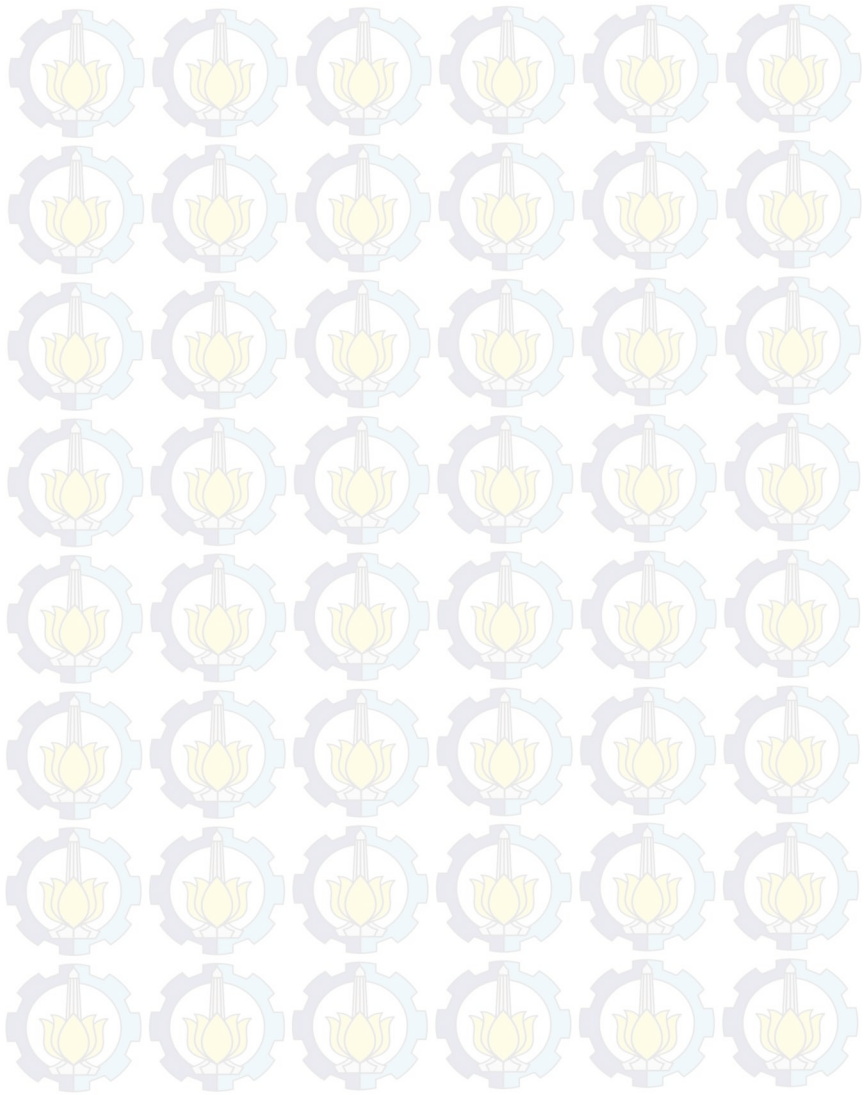
	Halaman
Gambar 2.1 Rentang temperature operative berdasarkan ASHRAE Standard 55 tahun 2004.....	16
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir	19
Gambar 3.2 Dinding rumah kayu yang menghadap Utara tampak luar	22
Gambar 3.3 Dinding rumah kayu yang menghadap Timur tampak dalam	22
Gambar 3.4 Dinding rumah kayu yang menghadap Barat tampak dalam	23
Gambar 3.5 Dinding rumah kayu yang menghadap Utara tampak dalam	23
Gambar 3.6 Atap rumah fasad kayu	23
Gambar 3.7 Dinding bagian Selatan tampak luar	25
Gambar 3.8 Dinding bagian Selatan tampak dalam	25
Gambar 3.9 (a) rumah kayu bagian depan, (b) rumah kayu bagian kiri, (c) rumah kayu bagian belakang, (d) rumah kayu bagian kanan.....	33
Gambar 3.10 (a) rumah bata bagian depan, (b) rumah bata bagian kiri, (c) rumah bata bagian belakang, (d) rumah bata bagian kanan	34
Gambar 4.1 Grafik antara OTTV hasil perhitungan rumah bata, rumah kayu, dan faktor radiasi matahari	38
Gambar 4.2 Bagian dinding rumaah kayu dengan komponen kaca paling besar	39
Gambar 4.3 <i>Comfort zone</i> wilayah Surabaya	46
Gambar 4.4 <i>Comfort zone</i> wilayah Surabaya setelah adanya ventilasi natural pada bangunan	47
Gambar 4.5 rata-rata diurnal bulanan daerah Surabaya	48
Gambar 4.6 Perbandingan temperatur dalam rumah kayu dan rumah bata	49



DAFTAR NOTASI

OTTV	: Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m^2)
α	: Absorptansi radiasi matahari
U_w	: Transmittansi termal dinding tidak tembus cahaya ($\text{W/m}^2\text{K}$)
WWR	: Perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi ditentukan
TD_{eq}	: Beda temperatur ekuivalen (K)
SF	: Faktor radiasi matahari (W/m^2)
SC	: Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi
SGHC	: <i>Solar Heat Gain Coefficient</i>
U_f	: Transmittansi termal fenestrasi ($\text{W/m}^2\text{K}$)
DT	: Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam
A_i	: Luas total untuk dinding individual dengan orientasi yang sama (m^2)
A_w	: Luas untuk dinding individual dengan orientasi yang sama (m^2)
A_f	: Luas untuk fenestrasi individual dengan orientasi yang sama (m^2)
R	: Resistansi termal total bahan ($\text{m}^2\cdot\text{K/W}$)
d	: Tebal bahan (m)
k	: Konduktivitas termal bahan ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)
RSHG	: <i>Room Sensible Heat Gain</i> (Btu/h)
CLTD _{corr}	: CLTD tabel + (78-indoor) + (outdoor-85) ($^{\circ}\text{F}$)
ΔT	: Temperatur luar – temperatur dalam ($^{\circ}\text{F}$)
SCL	: <i>solar cooling load</i> (Btu/h.ft ²)
Qs	: beban panas orang sensibel (Btu/h)
Ql	: beban panas orang latent (Btu/h)
CLF	: <i>Cooling Load Factor</i>
Input	: jumlah lampu yang terpasang (W)
F _s	: <i>special allowance factor</i>

CLF_{eq} : *cooling load factor* untuk peralatan



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk dinding luar dan atap tidak tembus cahaya (SNI 03-6389-22011)...	10
Tabel 2.2 Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk cat permukaan dinding luar (SNI 03-6389-22011).....	11
Tabel 2.3 Nilai resistansi lapisan uddara permukaan untuk dinding dan atap(SNI 03-6389-22011).....	12
Tabel 2.4 Nilai konduktivitas bahan bangunan (SNI 03-6389-22011).....	13
Tabel 2.5 Beda temperatur ekivalen untuk dinding	14
Tabel 2.6 Faktor radiasi matahari (SF, W/m^2) untuk berbagai orientasi.....	14
Tabel 3.1 Data deskripsi tiap sisi dinding rumah kayu <i>existing</i> ..	22
Tabel 3.2 Data deskripsi tiap sisi dinding rumah bata <i>existing</i> ...	24
Tabel 4.1 Komponen rumah bata untuk perhitungan OTTV	35
Tabel 4.2 Komponen rumah kayu untuk perhitungan OTTV	36
Tabel 4.3 Beban kalor dinding hasil simulasi dengan <i>Ecotect Analysis</i>	36
Tabel 4.4 Beban kalor dinding hasil perhitungan	37
Tabel 4.5 Nilai OTTV dari rumah kayu apabila nilai WWR direduksi	39
Tabel 4.6 Perbandingan OTTV rumah fassad bata dan kayu pada model rumah bata.....	41
Tabel 4.7 Beban pendinginan rumah kayu ddan rumah bata menggunakan metode CLTD	43
Tabel 4.8 Beban pendinginan rumah kayu dan rumah bata per satuan luas lantai	44
Tabel 4.9 Beban pendinginan rumah kayu dan rumah bata hasil simulasi menggunakan <i>Ecotect Analysis</i>	45



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis dimana mendapatkan panas matahari sepanjang tahun. Unsur iklim tropis ini tentu mempengaruhi bangunan yang ada di Indonesia.

Bangunan merupakan obyek fisik yang kompleks. Bangunan berinteraksi secara langsung dengan lingkungan serta menyediakan hunian yang nyaman dan tempat berlindung maupun bekerja bagi manusia. Salah satu bangunan yang paling vital adalah rumah, subyek merupakan tempat utama manusia berlindung dari keadaan di lingkungan. Bangunan yang baik tentu menyediakan kondisi lingkungan dalam yang nyaman. Salah satunya adalah kenyamanan termal serta aspek konsumsi energi. Performansi dari bangunan dipengaruhi oleh pemilihan komponen dan material bangunan ketika mendesain selubung bangunan, seperti dinding, jendela, pintu, dan atap), serta sistem-sistem yang ada di dalam bangunan, seperti pencahayaan, HVAC, dan sebagainya).

Kenyamanan termal dalam ruangan disepakati dengan menggunakan OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*), transmitansi termal dari atap, dan beban densitas pencahayaan dari suatu bangunan (Chua, 2011). Dampak dari selubung bangunan pada penggunaan energi untuk pendinginan tergantung pada iklim, jadwal operasi dari bangunan, dan tiga karakteristik dinding perimeter seperti orientasi, ketebalan, dan posisi insulasi relatif terhadap massa (Yik, 2005)

Hunian atau tempat tinggal memiliki banyak tipe dan jenis dengan berbagai arsitektur. Selain itu, hal paling penting dari bangunan hunian adalah fasad. Fasad ini dapat berasal dari batu bata, beton, kayu, bambu dan sebagainya. Material fasad yang dapat dijumpai di Indonesia umumnya adalah fasad dari batu bata dan fasad dari kayu. Perbedaan fasad rumah tentu akan mempengaruhi kalor yang dapat masuk ke dalam rumah sehingga akan berpengaruh pada kenyamanan termal pada rumah tersebut.

Perbedaan kalor yang dapat masuk dalam rumah ini dipengaruhi oleh perbedaan konduktifitas termal dari material penyusun dinding (Incropera, 2007). Oleh karena itu perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang kenyamanan termal dari rumah dengan fasad batu bata dan rumah dengan fasad kayu.

Untuk melakukan analisa performansi energi dan kenyamanan termal dalam bangunan pun dapat menggunakan bantuan piranti lunak dengan cara simulasi. Terdapat berbagai macam piranti lunak yang dapat digunakan, salah satunya adalah *Ecotect Analysis*. Dimana *Ecotect Analysis* yang dikeluarkan oleh *Autodesk* yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk *student license*.

1.2. Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah yang dapat diambil untuk penelitian ini antara lain:

- Bagaimanakah perbedaan kenyamanan termal hunian untuk rumah dengan fasad dominan dari tembok bata dan rumah dengan fasad dominan dari kayu.
- Bagaimanakah beban energi pendinginan pada rumah dengan fasad dominan dari batu bata dan rumah dengan fasad dominan dari kayu.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- Rumah fasad kayu yang dimaksud adalah rumah dengan fasad kayu jati yang terletak di daerah Keputih, Surabaya.
- Rumah fasad bata yang dimaksud adalah rumah dengan fasad bata yang terletak di daerah Gunung Anyar, Surabaya.
- Analisa kenyamanan termal sebatas OTTV dan beban pendinginan yang dihitung dalam rentang penelitian bulan April hingga Mei 2014.
- Rumah yang dianalisa sama-sama memiliki atap dari genteng tanah liat.

- Simulasi dan perhitungan dilakukan dengan mengasumsikan rumah berdiri sebagai bangunan independen dan tidak berbatasan dengan bangunan lain

1.4. Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini antara adalah untuk mengidentifikasi kenyamanan termal hunian untuk objek rumah dengan fasad dominan tembok bata dengan fasad dominan kayu di Surabaya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kalor dan Perpindahan Kalor

Kalor adalah salah satu bentuk energi yang terkandung dalam suatu substansi dalam bentuk gerakan molekul atau muncul sebagai radiasi elektromagnetik (Szokolay, 2008). Dengan adanya kalor ini maka muncullah suatu efek samping yaitu temperatur. Aliran kalor terjadi dari zona temperatur tinggi ke zona temperatur yang lebih rendah dapat terjadi dalam tiga bentuk yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Besarnya aliran kalor ini dapat dihitung dalam dua cara, yaitu laju aliran kalor (*heat flux*) dan kerapatan *heat flux*. *Heat flux* adalah total aliran kalor dalam unit waktu yang melalui sebuah luasan tertentu, biasanya didefinisikan dengan satuan Watt atau Joule/sekon. Sedangkan kerapatan *heat flux* adalah laju dari kalor yang melalui suatu luasan tertentu, biasanya didefinisikan dengan satuan Watt/m².

2.1.1. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor tanpa disertai perpindahan partikel, biasanya terjadi pada benda padat. Konduksi ini sangat dipengaruhi oleh konduktivitas termal dari suatu benda. Persamaan konduksi secara umum dituliskan dalam persamaan 2.1.

$$q_x = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.1)$$

Dimana k, konduktivitas termal (W/m.K), adalah properti dari material. Dan untuk *heat flux* dituliskan dalam persamaan 2.2.

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.2)$$

2.1.2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor yang disertai dengan perpindahan partikel, biasanya terjadi pada zat cair dan gas.

Dimana persamaan untuk konveksi dituliskan dalam persamaan dibawah 2.3.

$$q = \bar{h}A_s(T_s - T_\infty) \quad (2.3)$$

Besar nilai \bar{h} dipengaruhi oleh posisi permukaan, arah dari aliran kalor, dan kecepatan fluida (Szokolay, 2008).

2.1.3. Radiasi

Perpindahan kalor secara radiasi sangat dipengaruhi oleh temperatur pada permukaan yang menerima dan mengemisikan kalor, dimana ini sangat bergantung pada kualitas dari permukaan benda. Kualitas permukaan ini dapat dipengaruhi oleh faktor reflektansi, absorptansi, teori benda hitam, dan emitansi.

2.2. Perilaku Termal Bangunan

Sebuah bangunan dapat dianggap sebagai suatu sistem termal dimana terdapat kalor masukan dan kalor keluaran bagi penghuni yang ada di dalamnya. Kalor-kalor itu antara lain adalah beban kalor internal (Q_i), beban atau rugi kalor dari konduksi (Q_c), beban kalor dari matahari (Q_s), beban atau rugi kalor dari ventilasi (Q_v), dan kehilangan kalor karena penguapan (Q_e) (Szokolay, 2008). Sistem dapat dirumuskan dalam persamaan 2.4 sebagai berikut.

$$Q_i + Q_c + Q_s + Q_v + Q_e = \Delta S \quad (2.4)$$

Dimana ΔS adalah kalor yang disimpan dalam bangunan.

Berdasarkan persamaan diatas, keseimbangan termal dapat dicapai apabila ΔS sama dengan nol. Apabila ΔS bernilai lebih dari nol maka temperatur dalam bangunan akan bertambah, dan bila kurang dari nol maka temperatur dalam bangunan akan turun.

Suatu sistem bangunan dapat dianalisa dengan mengasumsikan bahwa sistem tersebut dalam keadaan *steady*, atau dapat dikatakan ketika perbedaan diurnal yang tidak terlalu

besar jika dibandingkan antara perbedaan temperatur bagian dalam dan luar ruangan. Hal ini akan menjadi dasar apakah bangunan tersebut memerlukan kapasitas untuk pemanasan atau pendinginan berdasarkan kondisi desain.

Energi masukan dari sebuah bangunan yang paling besar adalah dari radiasi matahari. Sehingga perlu adanya kontrol untuk membatasi energi radiasi dari matahari yang masuk ke dalam bangunan.

Untuk mengontrol masukan radiasi energi matahari ini dapat menggunakan *shading*. Hal ini karena *shading* pada bagian luar bangunan sangat efektif untuk mengontrol penetasi matahari ke dalam bangunan. *Shading* dapat didesain berdasarkan profil edar matahari, baik perharinya maupun selama setahun. Jenis *shading* ada tiga macam, yaitu dengan bentuk vertikal, horisontal, dan kombinasi keduanya.

2.2.1. Transmittansi Termal pada Selubung

Kenyamanan termal dalam ruangan atau energi standar untuk bangunan biasanya disepakati dengan menggunakan OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*), transmittansi termal dari atap, dan beban intensitas pencahayaan dari suatu bangunan (Chua, 2011). Di Asia Tenggara umumnya OTTV digunakan sebagai nilai transfer termal secara keseluruhan untuk karakteristik termal dari selubung bangunan. Perhitungan OTTV ini dilakukan sebagai rata-rata nilai transmittansi termal untuk seluruh selubung bangunan, termasuk efek radiasi matahari.

Beban kalor dari energi matahari berbeda untuk jenis permukaan transparan dan tidak tembus cahaya. Untuk beban kalor yang melalui permukaan jenis transparan akan dipengaruhi oleh koefisien peneduh dan kemampuan kaca untuk mentransmisikan kalor. Sedangkan untuk permukaan yang tidak tembus cahaya akan dipengaruhi oleh kemampuan bahan untuk menyerap kalor.

Perhitungan nilai OTTV ini didasari oleh tiga elemen perpindahan panas pada selubung bangunan yaitu konduksi kalor melalui dinding tidak tembus cahaya, konduksi kalor melalui

kaca, dan radiasi matahari melalui kaca. Untuk dinding individual dengan orientasi yang sama dapat dirumuskan dalam persamaan 2.5 berikut.

$$OTTV_i = \frac{[(A_w \times U_w \times \alpha \times TD_{eq}) + (A_f \times U_f \times DT) + (A_f \times SC \times SF)]}{A_i} \quad (2.5)$$

Sedangkan OTTV untuk seluruh dinding eksterior diberikan dengan pembebanan rata-rata dari nilai-nilai tersebut.

$$OTTV_{wall} = \frac{\sum (OTTV_i \times A_i)}{\sum A_i} \quad (2.6)$$

Dimana persamaan OTTV ini biasanya dituliskan dalam bentuk rasio antara dinding dan kaca, seperti persamaan 2.7 di bawah ini.

$$OTTV_i = [(1 - WWR) \times U_w \times \alpha \times TD_{eq}] + [WWR \times U_f \times DT] + [WWR \times SC_f \times SF] \quad (2.7)$$

Dimana:

OTTV = nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m^2)

α = absorbtansi radiasi matahari

U_w = transmitansi termal dinding tidak tembus cahaya (W/m^2K)

WWR = perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi ditentukan

TD_{eq} = beda temperatur ekivalen (K)

SF = faktor radiasi matahari (W/m^2)

SC = koefisien peneduh dari sistem fenestrasi

U_f = transmitansi termal fenestrasi ($W/m^2 K$)

DT = beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam

A_i = luas total untuk dinding individual dengan orientasi yang sama (m^2)

A_w = luas untuk dinding individual dengan orientasi yang sama (m^2)

A_f = luas untuk fenetrasi individual dengan orientasi yang sama (m^2)

Nilai OTTV untuk setiap bidang dinding luar bangunan dengan orientasi tertentu yang memiliki lebih dari satu jenis material dinding maka diwakili oleh persamaan 2.8 berikut.

$$\begin{aligned}
 OTTV_i = & \left[\alpha_1 \times \frac{A_1}{\sum A} (1 - WWR) \times U_w \times TD_{eq} \right] + \dots \\
 & \dots + \left[\alpha_2 \times \frac{A_2}{\sum A} (1 - WWR) \times U_w \times TD_{eq} \right] + \dots \\
 & \dots + \left[\alpha_n \times \frac{A_n}{\sum A} (1 - WWR) \times U_w \times TD_{eq} \right] + \dots \\
 & \dots + [WWR \times U_f \times DT] + [WWR \times SC_f \times SF]
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Dengan

A_1 = area dinding dengan material 1

A_2 = area dinding dengan material 2

$\sum A$ = $A_1 + A_2 + \dots + A_n$

Berdasarkan peraturan SNI 03-6389-2011 disebutkan untuk membatasi perolehan panas akibat radiasi matahari, nilai OTTV yang diperbolehkan di Indonesia adalah kurang dari sama dengan 45 W/m^2 .

Nilai absorbtansi radiasi matahari (α) untuk berbagai bahan juga berbeda-beda tergantung karakteristik bahan tersebut untuk menyerap kalor radiasi matahari. Nilai absorbtansi radiasi matahari (α) beberapa jenis permukaan dinding tidak tembus cahaya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk dinding luar dan atap tidak tembus cahaya (SNI 03-6389-2011)

Bahan dinding luar	α
Beton berat untuk bangunan nuklir	0,91
Bata merah	0,89
<i>Bituminous felt</i>	0,88
Batu sabak	0,87
Beton ringan	0,86
Aspal jalan setapak	0,82
Kayu permukaan halus	0,78
Beton ekspos	0,61
Ubin putih	0,58
Bata kuning tua	0,56
Atap putih	0,50
Cat alumunium	0,40
Kerikil	0,29
Seng putih	0,26
Bata glazur putih	0,25
Lembaran alumunium yang dikilapkan	0,12

Selain nilai α dari bahan, pelapis atau cat juga akan memperngaruhi kemampuan bahan untuk menyerap panas atau kalor dari radiasi matahari. Maka nilai absorbtansi radiasi matahari dari bahan pelapis atau cat permukaan dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai absorptansi radiasi matahari untuk cat permukaan dinding luar (SNI 03-6389-2011)

Bahan dinding luar	α
Hitam merata	0,95
Pernis hitam	0,92
Abu-abu tua	0,91
Pernis biru tua	0,91
Cat minyak hitam	0,90
Coklat tua	0,88
Abu-abu/biru tua	0,88
Biru/hijau tua	0,88
Coklat medium	0,84
Pernis hijau	0,79
Hijau medium	0,59
Kuning medium	0,58
Hijau/biru medium	0,57
Hijau muda	0,47
Putih semi mengkilap	0,30
Putih kilap	0,25
Perak	0,25
Pernis putih	0,21

Berdasarkan SNI 03-6389-2011, apabila nilai α bahan warna diketahui, maka nilai α yang diambil adalah nilai α lapisan terluar. Namun pada konstruksi dinding menggunakan tirai yang memiliki 2 nilai α maka α total adalah perkalian dari kedua nilai absorbtansi.

Untuk dinding tidak transparan dan fenestrasi yang terdiri dari beberapa lapis maka besar U dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$U = \frac{1}{R_{total}} \quad (2.9)$$

Dimana R adalah resistansi termal total yang umumnya terdiri dari resistansi termal udara dan resistansi termal bahan. Besarnya resistansi lapisan udara permukaan untuk dinding dan atap berdasarkan SNI dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai resistansi lapisan udara permukaan untuk dinding dan atap (SNI 03-6389-2011)

Jenis Permukaan		Resistansi Termal, R , ($m^2.K/W$)
Permukaan dalam (R_{UP})	Emisivitas tinggi ¹⁾	0,120
	Emisivitas rendah ²⁾	0,299
Permukaan luar (R_{UL})	Emisivitas tinggi	0,044

Keterangan:

- 1) emisivitas tinggi adalah permukaan halus yang tidak mengkilap (non reflektif)
- 2) emisivitas rendah adalah permukaan dalam yang reflektif, seperti aluminium foil

Resistansi termal bahan dihitung dengan menggunakan rumus

$$R_k = \frac{d}{k} \quad (2.10)$$

dengan

d = tebal bahan (m)

k = konduktivitas termal bahan ($W/m.K$)

Berdasarkan persamaan 2.10, tebal bahan (d) akan mempengaruhi nilai resistansi termal.

Dimana konduktivitas atau kehantaran termal adalah besaran yang menunjukkan kemampuan bahan atau benda untuk menghantarkan kalor. Besarnya nilai konduktivitas untuk berbagai jenis bahan terdapat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai konduktivitas bahan bangunan (SNI 03-6389-2011)

Bahan bangunan	Densitas (kg/m ³)	K (W/m.K)
Beton	2400	1,448
Beton ringan	960	0,303
Bata dengan lapisan plester	1760	0,807
Bata langsung dipasang tanpa plester, tahan terhadap cuaca		1,154
Plesteran pasir semen	1568	0,533
Kaca lembaran	2512	1,053
Papan gypsum	880	0,170
Kayu lunak	608	0,125
Kayu keras	702	0,138
Kayu lapis	528	0,148
<i>Glasswool</i>	32	0,035
Fiberglas	32	0,035
Paduan aluminium	2672	211
Tembaga	8784	385
Baja	7840	47,6
Granit	2640	2,927
Marmer/Batako/terazo/keramik/mozaik	2640	1,298

Hal yang memperngaruhi beda temperatur ekivalen (TD_{ek}) ada 4, yaitu:

- jenis, massa, dan densitas konstruksi
- intensitas radiasi dan lama penyinaran
- lokasi dan orientasi bangunan
- kondisi perancangan

Oleh karena itu untuk memudahkan perhitungan OTTV, dalam SNI telah terdapat nilai temperatur ekivalen untuk berbagai tipe konstruksi seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Beda temperatur ekivalen untuk dinding

Berat/satuan luas (kg/m^2)	TD_{eq}
Kurang dari 125	15
126 – 195	12
Lebih dari 195	10

Seperti yang telah dijelaskan bahwa hal yang paling mempengaruhi dalam perpindahan kalor pada selubung adalah besarnya radiasi matahari yang menyinari permukaan, baik transparan maupun tidak tembus cahaya. Berdasarkan SNI 03-6389-2011 untuk bidang vertikal, faktor radiasi matahari dihitung antara jam 07.00 sampai dengan jam 18.00 dapat dilihat pada tabel 2.6 berikut

Tabel 2.6 Faktor radiasi matahari (SF , W/m^2) untuk berbagai orientasi

Orientasi	U	TL	T	TGR	S	BD	B	BL
	130	113	112	97	97	176	243	211

Keterangan:

U = Utara

TL = Timur Laut

T = Timur

TGR = Tenggara

S = Selatan

BD = Barat Daya

B = Barat

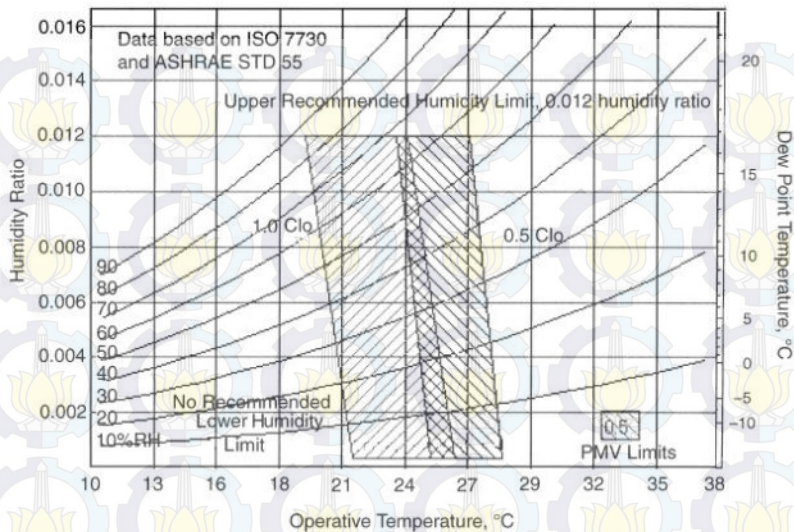
BL = Barat Laut

Berdasarkan tabel 2.6, untuk arah orientasi selatan dan tenggara memiliki faktor radiasi matahari yang paling kecil. Sedangkan orientasi barat memiliki faktor radiasi matahari yang paling besar. Dimana nilai faktor radiasi ini akan mempengaruhi nilai dari OTTV dari sektor radiasi komponen kaca pada dinding.

2.3. Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal adalah salah satu bentuk dari kepuasan yang dibutuhkan oleh manusia menurut Maslow pada hirarki kebutuhan manusia. Kenyamanan termal ini bersifat psikologis dari seseorang dimana mereka merasakan tidak terlalu panas atau dingin (Mohd Fadhil, 2014). Kenyamanan dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, faktor personal, dan faktor pendukung. Faktor lingkungan yang mempengaruhi adalah temperatur udara, pergerakan udara, kelembaban, dan radiasi. Temperatur udara adalah faktor lingkungan yang paling dominan, karena dipengaruhi hilangnya kalor secara konveksi.

Dalam ASHRAE Standard 55 tahun 2004 dijelaskan terdapat enam faktor primer yang berpengaruh pada kenyamanan termal. Keenam faktor itu adalah laju metabolisme dari manusia, insulasi dari pakaian, temperatur udara, temperatur radian, kecepatan udara, dan kelembapan. Berdasarkan standar ASHRAE untuk laju metabolisme tubuh antara 1 met hingga 1,3 met dan insulasi baju antara 0,5 clo dan 1 clo akan mendapatkan rentang temperatur dalam ruangan seperti yang ditunjukkan gambar seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rentang temperatur operative berdasarkan ASHRAE Standard 55 tahun 2004

Berdasarkan gambar 2.1 apabila insulasi baju 1 clo maka rentang temperatur dalam ruangan adalah antara 19°C hingga 26°C. Namun apabila insulasi baju adalah 0,5 clo maka akan berada pada rentang 24°C hingga 28°C.

2.4. Beban Pendinginan

Beban Pendinginan dengan metode *Cooling Load Temperature Difference* atau CLTD adalah jumlah energi kalor yang harus dihilangkan dalam satuan waktu dari ruangan yang didinginkan. Beban ini diperlukan untuk mengimbangi beban kalor eksternal dan beban kalor internal. Beban kalor internal adalah beban kalor yang diakibatkan oleh panas yang timbul dari penghuni, lampu, maupun peralatan yang ada di dalam bangunan. Sedangkan beban eksternal adalah beban yang diakibatkan oleh kalor yang masuk akibat terpapar matahari.

2.4.1. Beban Kalor Eksternal

Beban kalor eksternal untuk bangunan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

- Konduksi melalui atap, dinding, dan kaca:

$$RSHG = U \times A \times CLTD_{corr} \quad (2.11)$$

Dimana:

$RSHG$ = room sensible heat gain (Btu/h).

A = luas atap, dinding, kaca (ft^2).

U = nilai konduktansi bahan ($Btu/ft^2 \cdot ^\circ F \cdot h$).

$CLTD_{corr}$ = $CLTD \text{ tabel} + (78 - \text{indoor}) + (\text{outdoor} - 85) (^\circ F)$.

- Konduksi melalui partisi, langit-langit, dan lantai:

$$RSHG = U \times A \times \Delta T \quad (2.12)$$

Dimana:

A = luas partisi, langit-langit, lantai (ft^2).

ΔT = Temperatur luar – temperatur dalam ($^\circ F$).

- Radiasi melalui kaca:

$$RSHG = A \times SC \times SCL \quad (2.13)$$

Dimana:

A = luas kaca (ft^2).

SC = shading coefficient.

SCL = solar cooling load (Btu/h.ft²).

2.4.2. Beban Kalor Internal

Beban kalor internal untuk bangunan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

- Penghuni:

$$\begin{aligned} RSHG &= n \times Q_s \times CLF \\ RLHG &= n \times Q_l \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dimana:

Q_s = beban panas orang sensibel (Btu/h).

Q_l = beban panas orang latent (Btu/h).

CLF = *cooling load factor*, untuk orang.

- Lampu:

$$RSHG = 3,412 \times Input \times F_s \times CLF \quad (2.15)$$

Dimana:

$Input$ = jumlah lampu yang terpasang (W).

F_s = *special allowance factor* = 1,20.

CLF = *cooling load factor*, untuk lampu.

- Peralatan:

$$RSHG = Input \times CLF_{eq} \quad (2.16)$$

Dimana:

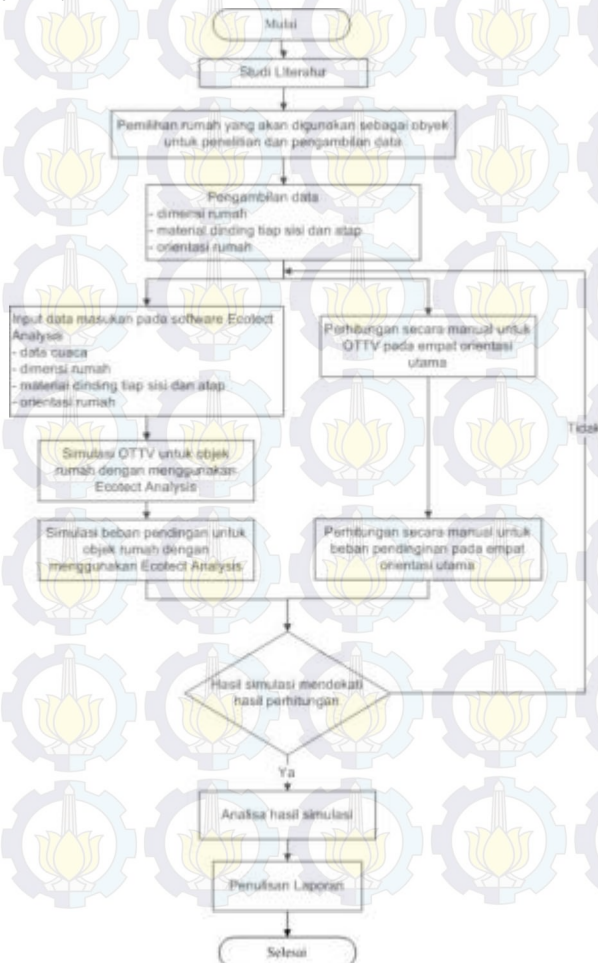
$Input$ = jumlah peralatan yang digunakan (Btu/h).

CLF_{eq} = *cooling load factor*, untuk peralatan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahap Pengerjaan Tugas Akhir

Dalam pengerjaan tugas akhir ini dilakukan beberapa tahap yaitu seperti yang tergambar dalam diagram alir pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

Adapun metodologi dalam melakukan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur ini berisi kegiatan pembelajaran serta pencarian teori-teori penunjang untuk penyelesaian penelitian ini. Dimana yang akan dipelajari adalah tentang bangunan rumah dengan bentuk arsitektur rumah yang memiliki fasad dominan batu bata dan dominan kayu, kenyamanan termal dalam bangunan, penggunaan dan cara kerja *software* yang akan digunakan dalam penelitian ini.

2. Pemilihan sampel rumah yang akan digunakan untuk pengambilan data

Dilakukan pemilihan sampel rumah dengan fasad dominan batu bata dan rumah dengan fasad dominan kayu. Dimana dipilih rumah dengan tipe yang sama dan luas yang tidak berbeda jauh. Kemudian dilakukan pengambilan data seperti profil ruangan, denah rumah, dimensi bangunan dan properti dinding, serta data-data lain yang mendukung dalam penelitian ini. Selain itu, untuk menaksir beban energi pendinginan pertahunnya diambil tentang profil penggunaan AC, jumlah penghuni, dan data-data yang menunjang.

3. Simulasi dengan menggunakan Ecotect Analysis

Simulasi untuk menaksir nilai OTTV dan beban energi pendinginan dilakukan dengan bantuan *software Ecotect Analysis*. Dimana untuk tiap-tiap tipe dan jenis rumah dilakukan simulasi. Selain itu dilakukan simulasi untuk orientasi yang berbeda untuk tiap bangunan rumah, dimana orientasi rumah tentu akan berpengaruh terhadap OTTV. Kemudian hasil simulasi dibandingkan dengan hasil perhitungan manual untuk nilai OTTV.

4. Analisa hasil simulasi

Setelah dilakukan simulasi, akan didapatkan hasil tipe rumah dan jenis rumah yang seperti apa yang lebih nyaman dalam hal termal. Kemudian dilakukan analisa mengapa hal tersebut terjadi.

5. Penyusunan laporan

Penyusunan laporan akhir penelitian dimana berfungsi sebagai pertanggungjawaban akhir dalam melakukan penelitian ini.

3.2. Objek yang digunakan Dalam Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah sebuah rumah dengan dominan fasad kayu dan sebuah rumah dengan fasad dominan tembok bata. Dimana kedua objek yang diambil sebagai sampel untuk dibandingkan ini berada di Kota Surabaya.

3.2.1. Rumah dengan fasad dominan kayu

Rumah dengan fasad dominan kayu yang terletak di Kota Surabaya ini merupakan rumah joglo yang kental dengan arsitektur jawa. Dinding-dinding rumah terbuat dari kayu jati dengan berbagai macam ukiran. Di dalam ruang utama terdapat empat tiang utama yang menopang balok-balok kayu yang membentang sebanyak tiga tingkatan, sebelum akhirnya terhubung dengan atap.

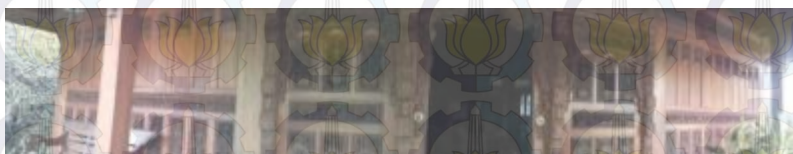
Rumah dengan fasad kayu ini memiliki deskripsi sebagai berikut:

- Panjang : 11,64 m.
- Lebar : 11,84 m.
- Tinggi : 3 m.
- Bahan dinding tiap sisi adalah kayu jati asli.
- Memiliki satu ruang utama, dapur, dan satu kamar.
- Rumah menghadap Utara.
- Pada dinding Utara terdapat satu pintu kayu dengan ukuran 1,18 m x 2,5 m.
- Pada dinding bagian Timur terdapat satu pintu kaca dengan ukuran 2,6 m x 2,5 m dan dua jendela kaca besar dengan ukuran masing-masing 2,545 m x 2,5 m.
- Pada dinding bagian Barat terdapat 12 jendela kaca kecil dengan ukuran masing-masing 0,15 m x 0,93 m.
- Pada dinding bagian Selatan berbatasan langsung dengan bangunan dengan dinding tembok bata.

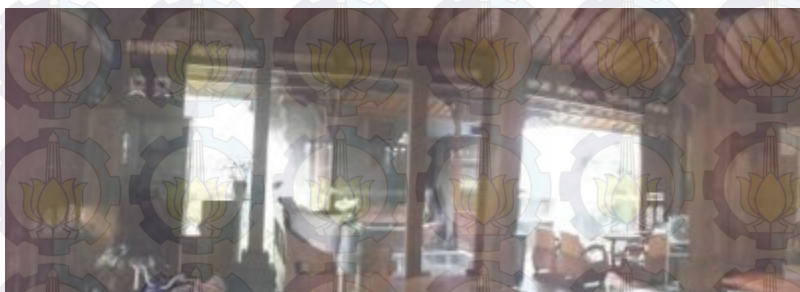
- Memiliki atap yang terbuat dari genteng tanah liat berwarna merah.

Tabel 3.1 Data deskripsi tiap sisi dinding rumah kayu *existing*

Dinding Sisi	Luas Dinding (m ²)	Luas Komponen Kaca (m ²)	WWR
Utara	34,92	0	0
Selatan	34,92	0	0
Barat	35,55	3,11	0,09
Timur	35,55	19,23	0,54



Gambar 3.2 Dinding rumah kayu yang menghadap Utara tampak luar



Gambar 3.3 Dinding rumah kayu yang menghadap Timur tampak dalam



Gambar 3.4 Dinding rumah kayu yang menghadap Barat tampak dalam



Gambar 3.5 Dinding rumah kayu yang menghadap Utara tampak dalam



Gambar 3.6 Atap rumah fasad kayu

3.2.2. Rumah dengan fasad dominan tembok bata

Rumah dengan fasad dominan tembok bata yang diambil sebagai objek perbandingan ini merupakan rumah dengan kesan sederhana. Seperti pada umumnya rumah tembok bata di perkotaan, pada rumah ini pada beberapa sisi dindingnya berbatasan langsung dengan bangunan lain.

Rumah dengan fasad tembok bata ini memiliki deskripsi sebagai berikut:

- Panjang : 9,2 m.
- Lebar : 8 m.
- Tinggi : 4 m.
- Bahan dinding tiap sisi adalah batu bata merah yang diplester.
- Memiliki satu ruang utama, tiga kamar tidur, satu dapur, dan dua kamar mandi.
- Rumah menghadap Selatan.
- Pada dinding Selatan terdapat satu pintu kayu dengan ukuran 1,28 m x 2,5 m, dua jendela berbingkai kayu dengan ukuran 2 m x 1,5 m, satu jendela berbingkai kayu dengan ukuran 0,62 m x 1,5 meter, dan 12 ventilasi dengan ukuran 0,3 m x 0,3 m.
- Pada dinding Barat dan Timur merupakan tembok bata yang diplester namun berbatasan langsung dengan bangunan lain.
- Pada dinding Utara untuk bangunan ini hanya terdiri dari tembok bata yang diplester.
- Memiliki atap yang terbuat dari genteng tanah liat berwarna merah.

Tabel 3.2 Data deskripsi tiap sisi dinding rumah bata *existing*

Dinding Sisi	Luas Dinding (m ²)	Luas Komponen Kaca (m ²)	WWR
Utara	36,80	7,74	0,21
Selatan	36,80	0	0
Barat	32,00	0	0
Timur	32,00	0	0



Gambar 3.7 Dinding bagian Selatan tampak luar



Gambar 3.8 Dinding bagian Selatan tampak dalam

3.3. Variabel yang digunakan

Data yang digunakan dalam perhitungan maupun simulasi OTTV dan beban pendinginan diuraikan sebagai berikut:

- Rumah fasad kayu
 - Panjang rumah (p)
 - Lebar rumah (l)
 - Tinggi rumah (t)
 - Konduktifitas termal kayu jati ($W/m.K$)

- Konduktifitas termal kaca ($W/m.K$)
- Konduktifitas termal tembok bata ($W/m.K$)
- Tebal dinding kayu jati (m)
- Tebal kaca (m)
- Tebal tembok bata (m)
- Tinggi atap (m)
- Rumah fasad tembok bata
 - Panjang rumah (p)
 - Lebar rumah (l)
 - Tinggi rumah (t)
 - Konduktifitas termal kayu bingkai ($W/m.K$)
 - Konduktifitas termal kaca ($W/m.K$)
 - Konduktifitas termal dinding tembok bata ($W/m.K$)
 - Tebal dinding tembok bata (m)
 - Tebal kaca (m)
 - Tinggi atap (m)
- Beban pendinginan
 - Beban panas dari material konstruksi rumah kayu (W/h)
 - Beban panas dari ventilasi rumah kayu (W/h)
 - Beban panas internal rumah kayu (W/h)
 - Beban panas dari material rumah tembok bata (W/h)
 - Beban panas dari ventilasi rumah tembok bata (W/h)
 - Beban panas internal rumah tembok bata (W/h)

3.4. Tahap Simulasi dan Perhitungan

Dalam pengerjaan tugas akhir ini terdapat dua tahap yaitu perhitungan dan simulasi. Tahap perhitungan digunakan untuk memvalidasi hasil simulasi yang dilakukan.

3.4.1. Tahap perhitungan

3.4.1.1. Perhitungan OTTV

Tahap perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan untuk OTTV (*Outer Thermal Transfer Value*) dari kedua bangunan

rumah untuk empat orientasi mata angin utama yaitu utara, selatan, timur, dan barat. Perhitungan dilakukan untuk memvalidasi hasil simulasi dari *Ecotect Analysis*. Pada tahap perhitungan ini kedua bangunan rumah diasumsikan berdiri sendiri dan tidak berbatasan dengan bangunan lain. Sehingga tiap dinding akan diasumsikan terkena panas matahari.

- OTTV Rumah Kayu

Hal pertama yang dilakukan dalam perhitungan OTTV rumah kayu adalah menghitung nilai OTTV perbagian dinding dengan orientasi sama. Dimana apabila orientasi menghadap arah utara maka untuk rumah kayu bagian utara terdiri dari satu pintu kayu dan tembok kayu tanpa kaca. Nilai absorbtansi untuk kayu adalah 0,78.

Berdasarkan nilai konduktivitas termal kayu jati yang bernilai 0,172 W/m K, dan tebal kayu jati yaitu 3 cm, maka nilai resistansi termal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1, kemudian menggunakan persamaan 3.2 untuk mengetahui besarnya nilai transmitansi termal (U).

$$R_k = \frac{d_{kayu_jati}}{k_{kayu_jati}} \quad (3.1)$$

$$U_{kayu_jati} = \frac{1}{R_{total}} \quad (3.2)$$

Karena tidak memiliki komponen kaca maka OTTV untuk arah utara akan dihitung dengan persamaan berikut:

$$OTTV_{utara} = 0.78 \times U_{kayu_jati} \times TD_{ek} \quad (3.3)$$

Dimana TD_{ek} bernilai 15 K.

Kemudian bagian timur adalah dinding kayu dengan luas total 35,55 m² yang memiliki pintu kaca dan dua jendela

dengan luas total 19,23 m². Sehingga pada dinding bagian timur ini memiliki rasio *window-to-wall* sebesar 0,54.

Untuk menghitung OTTV bagian timur ini memerlukan perhitungan transmitansi termal kaca yang memiliki konduktivitas termal 1,05 W/m K dan tebal 3 mm.

$$R_{kaca} = \frac{d_{kaca}}{k_{kaca}} \quad (3.4)$$

$$U_{kaca} = \frac{1}{R_{total}} \quad (3.5)$$

Kemudian *shading coefficient* dihitung dengan menggunakan persamaan 3.6 dan 3.7.

$$SC = SC_1 \times SC_2 \quad (3.6)$$

$$SC_2 = \frac{SHGC}{0,87} \quad (3.7)$$

Dimana SHGC untuk kaca bening dengan penampang single adalah 0,86. Selisih temperatur perencanaan adalah 5K (menurut SNI), dan faktor radiasi matahari dapat dilihat pada tabel 2.6.

Sehingga OTTV untuk bagian timur dihitung dengan menggunakan persamaan 3.8.

$$OTTV_{timur} = [(1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times 0,78 \times TD_{ek}] + \dots + [WWR \times U_{kaca} \times DT] + [WWR \times SC \times SF] \quad (3.8)$$

Kemudian bagian selatan rumah kayu terdiri dari tembok bata dan tembok kayu. Dimana nilai absorbtansi bata

adalah 0,89 dan konduktivitas bata adalah 0,81 W/m K dan tebal 15 cm.

Nilai transmitansi termal dinding bata dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$R_{bata} = \frac{d_{bata}}{k_{bata}} \quad (3.9)$$

$$U_{bata} = \frac{1}{R_{total}} \quad (3.10)$$

Sehingga nilai OTTV dinding selatan dihitung dengan menggunakan persamaan

$$OTTV_{selatan} = \left[0,78 \times \frac{A_{bata}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{bata} \times TD_{ek} \right] + \left[0,89 \times \frac{A_{bata}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{bata} \times TD_{ek} \right] \quad (3.11)$$

Tembok bagian barat memiliki dinding kayu, pintu kayu, dan jendela kaca. Sehingga OTTV akan dihitung dengan menggunakan persamaan

$$OTTV_{barat} = \left[(1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times 0,78 \times TD_{ek} \right] + \dots + \left[WWR \times U_{kaca} \times DT \right] + [WWR \times SC \times SF] \quad (3.12)$$

Dimana nilai faktor radiasi matahari dapat dilihat pada tabel 2.6.

Sehingga OTTV total rumah kayu orientasi utara dihitung dengan persamaan 3.13.

$$OTTV_{total} = \frac{\sum (OTTV_i \times A_i)}{\sum A_i} \quad (3.13)$$

Kemudian mengulangi perhitungan yang sama untuk rumah fasad kayu pada orientasi arah selatan, timur, dan

barat. Dimana masing-masing komponen yang berubah hanyalah faktor radiasi matahari yang menimpa dinding, dimana faktor radiasi dapat dilihat pada tabel 2.6.

- OTTV Rumah Bata

Hal pertama yang dilakukan dalam perhitungan OTTV rumah bata adalah menghitung nilai OTTV perbagian dinding dengan orientasi sama. Dimana apabila orientasi menghadap arah utara maka untuk rumah bata bagian utara terdiri dari tiga jendela kaca, satu pintu, ventilasi udara, dan dinding bata. Nilai absorbtansi dinding bata adalah 0,89.

$$R_{bata,kayu,kaca} = \frac{d_{bata,kayu,kaca}}{k_{bata,kayu,kaca}} \quad (3.14)$$

$$U_{bata,kayu,kaca} = \frac{1}{R_{bata,kayu,kaca}} \quad (3.15)$$

Sehingga OTTV untuk bagian utara dihitung dengan persamaan 3.16.

$$\begin{aligned} OTTV_{utara} = & \left[0,78 \times \frac{A_{kayu}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{kayu} \times TD_{ek} \right] + ... \\ & ... + \left[0,89 \times \frac{A_{bata}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{bata} \times TD_{ek} \right] + ... \\ & ... + [WWR \times U_{kayu} \times DT] + [WWR \times SC \times SF] \end{aligned} \quad (3.16)$$

Sedangkan untuk dinding bagian selatan, barat, dan timur merupakan dinding bata saja. Sehingga masing-masing dihitung dengan persamaan 3.17.

$$OTTV = [0,89 \times (1 - WWR) \times U_{bata} \times TD_{ek}] \quad (3.17)$$

Sehingga OTTV total rumah bata dihitung dengan persamaan 3.18.

$$OTTV_{total} = \frac{\sum (OTTV_i \times A_i)}{\sum A_i} \quad (3.18)$$

Kemudian mengulangi perhitungan yang sama untuk rumah fasad bata pada orientasi arah selatan, timur, dan barat. Dimana masing-masing komponen yang berubah hanyalah faktor radiasi matahari yang menimpa dinding, dimana faktor radiasi dapat dilihat pada tabel 2.6.

3.4.1.2. Perhitungan Beban Pendinginan

Selain perhitungan OTTV juga dilakukan perhitungan beban pendinginan dengan metode CLTD. Dimana pada metode CLTD ini beban pendinginan terbagi menjadi beban pendinginan dari internal rumah dan beban pendinginan eksternal.

Beban pendinginan internal meliputi beban kalor sensibel dari penghuni, beban kalor laten dari penghuni, beban kalor dari lampu, serta beban kalor dari peralatan yang ada di dalam rumah. Dimana untuk melihat pengaruh selubung bangunan maka beban pendinginan internal dari rumah kayu dan rumah bata dianggap sama.

Dimana beban kalor dari penghuni didapatkan dari kalor sensibel dan kalor laten yang dihasilkan oleh penghuni. Dimana penghuni dalam kedua rumah adalah 5 orang. Dengan kalor laten masing-masing individu 55 Watt, dan kalor sensibel dari manusia dengan kegiatan tidak berlebihan adalah 75 Watt. Maka beban pendinginan dari manusia dihitung dengan menggunakan persamaan 3.19 dan 3.20. Dimana nilai CLF dapat dilihat pada tabel *cooling load factor* milik ASHRAE.

$$RSHG = 5 \times 250 \frac{Btu}{h} \times CLF \quad (3.19)$$

$$RLHG = 5 \times 200 \frac{Btu}{h} \quad (3.20)$$

Kemudian lampu dalam rumah berjumlah 8 buah dengan masing-masing memiliki daya 15 Watt. Dengan faktor *cooling load* dilihat pada tabel ASHRAE. Dan nilai F_s adalah 1,02, maka nilai beban pendinginan karena lampu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.21.

$$RSHG = 8 \times 15 \times F_s \times CLF \quad (3.21)$$

Kemudian beban karena peralatan lain yang ada di dalam rumah juga dihitung dengan menggunakan persamaan 3.22.

$$RSHG = Input \times CLF \quad (3.22)$$

Beban pendinginan eksternal dihitung dari pengaruh selubung bangunan. Dimana ini terbagi menjadi konduksi kalor dari selubung bangunan dan radiasi kalor dari selubung bangunan. Konduksi kalor dari dinding selubung bangunan dan konduksi dari kaca pada dinding selubung bangunan dihitung dengan menggunakan persamaan 3.23, dan radiasi kalor dari kaca pada selubung bangunan dihitung dengan menggunakan persamaan 3.24.

$$RSHG = U \times A \times CLTD_{corr} \quad (3.23)$$

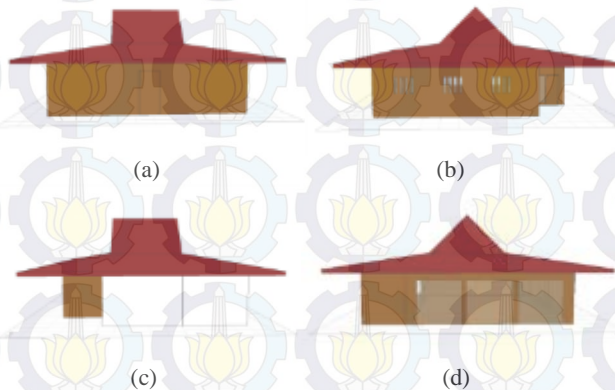
$$RSHG = A \times SC \times SCL \quad (3.24)$$

3.4.2. Tahap Simulasi

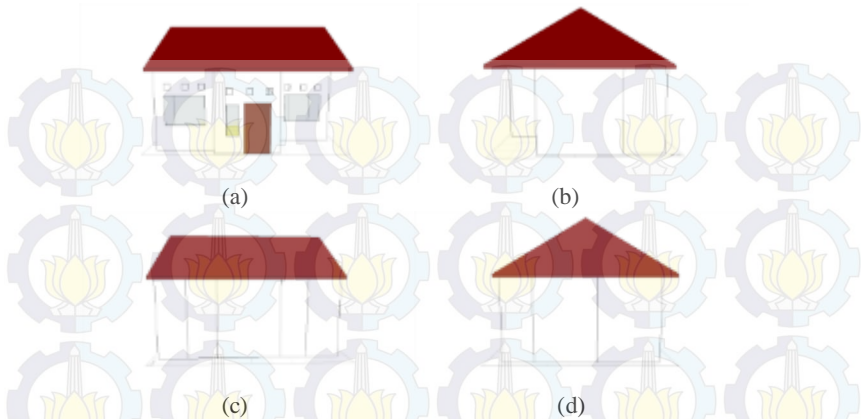
Tahap simulasi ini dilakukan dengan menggunakan piranti lunak *Ecotect Analysis* dengan *student license*. Dimana hal pertama yang dilakukan pada tahap simulasi adalah menggambar kedua rumah pada dimensi yang sebenarnya. Gambar rumah kayu

untuk simulasi dapat dilihat pada gambar 3.9, sedangkan rumah bata pada gambar 3.10.

Pada tahapan ini masing-masing bangunan disimulasikan pada delapan arah mata angin, yaitu utara, selatan, barat, timur, barat laut, barat daya, timur laut, dan tenggara. Untuk tiap arah mata angin disimulasikan bagaimana kalor dari matahari yang diserap oleh tiap material dinding dan yang ditransmisikan oleh kaca, serta beban energi pendinginan dari bangunan dengan menyamakan faktor internal dari kedua bangunan rumah. Dengan menyamakan beban kalor internal yang ada di dalam rumah maka yang membedakan dari beban pendinginan dari kedua rumah adalah beban eksternal atau dalam hal ini adalah selubung bangunan.



Gambar 3.9 (a) rumah kayu bagian depan, (b) rumah kayu bagian kiri, (c) rumah kayu bagian belakang, (d) rumah kayu bagian kanan



Gambar 3.10 (a) rumah bata bagian depan, (b) rumah bata bagian kiri, (c) rumah bata bagian belakang, (d) rumah bata bagian kanan

Untuk dapat melakukan simulasi dengan *Ecotect Analysis* maka dibutuhkan data cuaca Surabaya. Dimana data cuaca ini terdiri dari data temperatur udara, temperatur *dew-point*, temperatur *wet-bulb*, kelembapan relatif, radiasi matahari global, radiasi matahari langsung, radiasi matahari *diffuse*, kecepatan angin, arah angin, dan *cloud cover*.

Simulasi juga dilakukan untuk mengetahui kenyamanan termal dari rumah kayu dan rumah bata. Dimana simulasi dilakukan dengan melihat rentang kenyamanan dari *psychrometric chart* dengan menggunakan data cuaca dari Kota Surabaya. Dan dilakukan simulasi dengan menggunakan *ecotect analysis*, untuk melihat suhu dalam rumah bata maupun rumah kayu dan suhu luar. Kemudian hasil persebaran suhu dalam satu hari untuk kedelapan arah mata angin untuk rumah kayu, rumah bata, dan suhu luar dari hasil simulasi diplot dalam grafik dan dianalisa.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Beban Kalor dari Selubung

Pada tugas akhir ini menghitung beban kalor dari selubung rumah dilakukan untuk masing-masing rumah dengan fasad tembok bata dan rumah dengan fasad kayu jati. Dimana untuk menghitung beban kalor ini dilakukan simulasi dengan menggunakan bantuan piranti lunak *Ecotect Analysis* dan dilakukan perhitungan secara manual.

Untuk rumah bata berdasarkan model rumah yang sebenarnya, komponen-komponen dinding yang ada di dalamnya dapat dilihat pada tabel 4.1. Untuk rumah kayu berdasarkan model rumah yang sebenarnya, komponen-komponen dinding yang ada di dalamnya dapat dilihat pada tabel 4.2. Dimana nilai-nilai yang ada pada tabel 4.1 dan 4.2 ini akan digunakan dalam perhitungan OTTV pada masing-masing rumah kayu dan rumah bata. Setelah dilakukan perhitungan dilakukan variasi pada saat rumah bata dan rumah kayu menghadap arah mata angin yang lain. Pada perhitungan dilakukan variasi empat arah mata angin yaitu utara, selatan, barat, timur. Pada simulasi dilakukan variasi delapan arah mata angin utara, selatan, barat, timur, barat laut, barat daya, timur laut, dan tenggara.

Tabel 4.1 Komponen rumah bata untuk perhitungan OTTV

Dinding	Luas Total (m)	U_{bata} (W/m ² K)	U_{kaca} (W/m ² K)	U_{kayu} (W/m ² K)	WWR	SC	SF (W/m ²)
Utara	36,80	2,87	-	-	-	-	130
Selatan	36,80	2,87	5,99	2,95	0,21	0,86	97
Barat	32,00	2,87	-	-	-	-	273
Timur	32,00	2,87	-	-	-	-	112

Tabel 4.2 Komponen rumah kayu untuk perhitungan OTTV

Dinding	Luas Total (m)	U_{kayu} (W/m ² K)	U_{kaca} (W/m ² K)	U_{bata} (W/m ² K)	WWR	SC	SF (W/m ²)
Utara	34,92	2,95	-	-	-	-	130
Selatan	34,92	2,95	-	2,87	-	-	97
Barat	35,55	2,95	5.99	-	0,09	0,90	273
Timur	35,55	2,95	5.99	-	0,54	0,90	112

Untuk hasil simulasi dengan menggunakan piranti lunak *Ecotect Analysis* didapatkan hasil seperti pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Beban kalor dinding hasil simulasi dari *Ecotect Analysis*

Arah Orientasi	OTTV	
	Rumah Kayu (W/m ²)	Rumah Bata (W/m ²)
Utara	54.77	65.64
Selatan	56.25	39.12
Barat	47.44	66.30
Timur	44.97	44.01
Barat Laut	49.72	76.51
Barat Daya	48.97	45.40
Timur Laut	56.62	50.98
Tenggara	44.19	39.20

Berdasarkan pada hasil simulasi pada delapan arah orientasi rumah didapatkan bahwa untuk jenis rumah kayu relatif memiliki nilai beban kalor selubung yang lebih rendah apabila menghadap arah tenggara yaitu sekitar 44,19 W/m². Hal ini disebabkan dari hasil simulasi didapatkan bahwa *incident solar radiation* atau

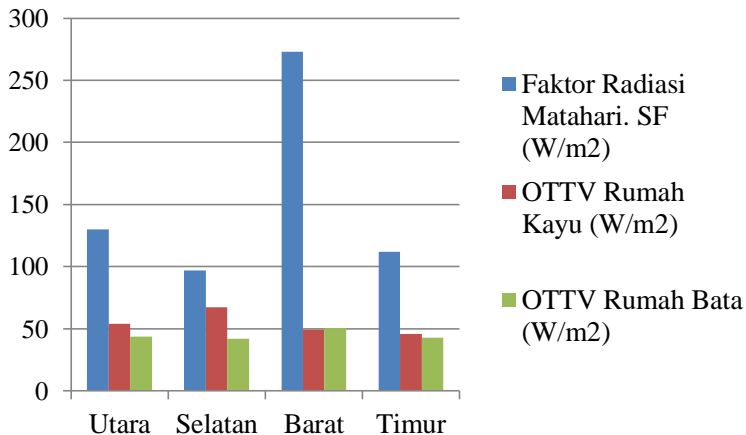
radiasi matahari insiden pada orientasi tenggara adalah yang paling kecil, yaitu bernilai 163,11 Wh/m².

Sedangkan untuk rumah bata beban kalor dari selubung untuk arah orientasi rumah menghadap arah selatan memiliki nilai beban kalor yang lebih kecil yaitu bernilai 39.12 W/m². Hal ini juga dipengaruhi oleh nilai *incident solar radiation* pada arah selatan adalah yang paling kecil. Dimana *incident solar radiation* ini adalah jumlah radiasi matahari yang menyinari permukaan selubung. .

Hasil simulasi ini cukup berbeda dengan hasil perhitungan. Berdasarkan hasil perhitungan (pada tabel 4.4) yang dilakukan pada empat arah mata angin didapatkan bahwa beban kalor rumah bata relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan beban kalor rumah kayu.

Tabel 4.4 Beban kalor dinding hasil perhitungan

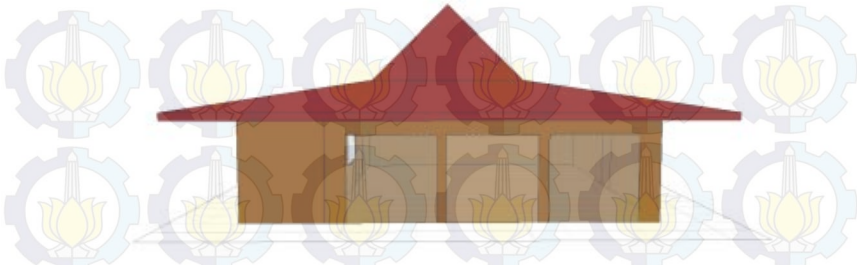
Arah Orientasi	OTTV	
	Rumah Kayu (W/m ²)	Rumah Bata (W/m ²)
Utara	53,90	43,77
Selatan	67,35	42.16
Barat	49,30	50.77
Timur	45,87	42.89



Gambar 4.1 Grafik antara OTTV hasil perhitungan rumah bata, rumah kayu, dan faktor radiasi matahari

Pada rumah bata berdasarkan hasil perhitungan maupun hasil simulasi, rumah dengan orientasi menghadap ke arah selatan memiliki beban kalor paling rendah. Hal ini dikarenakan karena bagian dinding rumah bata yang memiliki komponen kaca pada saat menghadap arah selatan terkena radiasi matahari yang paling kecil diantara arah orientasi yang lain, yaitu 97 W/m^2 . Selain itu berdasarkan hasil perhitungan, OTTV untuk rumah bata memiliki urutan yang sama dengan hasil simulasi untuk keempat arah orientasi.

Sedangkan untuk rumah kayu pada orientasi arah selatan baik untuk perhitungan maupun simulasi mengindikasikan nilai OTTV yang relatif besar dikarenakan pada saat rumah kayu menghadap selatan bagian dinding rumah dengan komponen kaca terbesar menghadap arah barat. Dimana seperti pada teori, arah barat memiliki faktor radiasi matahari paling besar yaitu 273 W/m^2 .



Gambar 4.2 Bagian dinding rumah kayu dengan komponen kaca paling besar

Komponen kaca yang dimaksud ini (gambar 4.2) menyebabkan dinding tersebut memiliki rasio *window-to-wall* atau WWR yang relatif besar yaitu 0,54. Hal ini disebabkan oleh adanya pintu kaca dengan luasan $6,5 \text{ m}^2$ dan dua jendela kaca besar dengan total luas $5,09 \text{ m}^2$. Untuk meminimalisir nilai beban kalor yang berasal dari perolehan panas melalui kaca yang bersifat konduktif maupun radiatif maka perlu adanya penurunan nilai WWR setara dengan nilai WWR rumah bata agar dapat dibandingkan nilai beban kalornya.

Tabel 4.5 Nilai OTTV dari rumah kayu apabila nilai WWR direduksi

WWR	OTTV			
	Utara	Selatan	Barat	Timur
0.54 (existing)	53.05	65.77	48.51	45.23
0.30	47.36	49.75	40.12	38.59
0.25	46.24	46.60	38.46	37.29

Dapat dilihat pada tabel 4.5, dimana nilai OTTV dari rumah kayu akan berubah seiring dengan berubahnya nilai WWR. Berdasarkan hasil perhitungan dengan nilai WWR yang semakin

kecil maka nilai OTTV akan semakin kecil pula. Hal ini karena kaca memiliki nilai transmitansi termal yang cukup besar yaitu $5,99 \text{ W/m}^2\text{K}$, dimana apabila luasan kaca terbilang besar maka tentu akan sangat berpengaruh pada nilai OTTV pada dinding tersebut.

Untuk rumah bata, material kaca hanya terletak di satu sisi, dan memiliki rasio perbandingan material kaca dan dinding sebesar 0,21. Dimana apabila dibandingkan dengan luas dari seluruh luasan dinding bata akan diperoleh nilai WWR 0,05. Sedangkan untuk rumah kayu terdapat dua sisi dari rumah yang terdapat komponen kaca. Pada salah satu dinding memiliki rasio WWR 0,09 dan yang lainnya 0,54. Jika nilai WWR 0,54 diganti dengan nilai WWR 0,25 maka akan diperoleh nilai rasio kaca yang bila dibandingkan dengan seluruh luasan dinding keempat sisi bernilai 0,09. Dan dari hasil pada tabel 4.5 dapat dilihat bahwa apabila nilai WWR direduksi beban kalor untuk rumah kayu berdasarkan perhitungan dapat lebih kecil dari pada rumah bata.

Nilai yang berbeda dari hasil perhitungan dan hasil simulasi ini dapat dipengaruhi oleh berbagai hal. Pada perhitungan besarnya nilai faktor radiasi matahari pada masing-masing arah diambil dari SNI. Sedangkan pada simulasi nilai faktor radiasi didapatkan dari data cuaca yang diinput pada *software*, dimana data cuaca ini adalah data cuaca daerah surabaya pada tahun 2013.

Selain itu untuk melihat pengaruh perbedaan fasad pada rumah, dilakukan simulasi dengan mengambil objek rumah yang sama dan hanya berbeda fasad. Maka dengan mengambil model objek rumah bata, setelah dilakukan simulasi dengan perbedaan fasad bata dengan ketebalan 15 cm dan fasad kayu dengan ketebalan 3 cm didapatkan hasil seperti pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan OTTV rumah fasad bata dan kayu pada model rumah bata

Arah Orientasi Rumah	OTTV	
	Model Rumah Bata	
	Fasad Bata (W/m^2)	Fasad Kayu (W/m^2)
Utara	65.64	65.99
Selatan	39.12	39.56
Barat	66.30	66.96
Timur	44.01	44.68
Barat Laut	76.51	77.18
Barat Daya	45.40	45.71
Timur Laut	50.98	51.47
Tenggara	39.20	39.51

Berdasarkan tabel 4.6, pada model rumah yang sama dengan komponen kaca yang sama fasad kayu lebih menghantarkan kalor daripada fasad bata. Hal ini tentu menunjang dari hasil simulasi sebelumnya pada model rumah yang berbeda.

Hal yang paling mendasari dari perhitungan beban kalor OTTV adalah nilai transmitansi termal. Dimana nilai transmitansi termal ini dipengaruhi oleh resistansi termal yang terdiri dari dua hal yaitu tebal bahan dan konduktivitas bahan. Dimana pada rumah kayu tebal dinding adalah 3 cm, sedangkan pada rumah bata tebal dinding adalah 15 cm. Dengan tebal dinding ini maka nilai resistansi termal dinding kayu akan lebih kecil dari pada resistansi termal dinding bata. Sehingga menyebabkan nilai transmitansi termal dari rumah kayu menjadi lebih besar dan bersifat sebagai penghantar kalor. Berdasarkan hal tersebut, besar nilai OTTV rumah kayu dapat diperkecil dari perhitungan maupun simulasi jika dinding kayu dipertebal atau resistansi termal dinding kayu diperbesar.

Berdasarkan aturan yang telah ditetapkan oleh SNI, besarnya nilai OTTV dari bangunan yang ada di Indonesia tidak boleh

melebihi 45 W/m^2 , namun pada hasil simulasi untuk kedua rumah pada berbagai orientasi banyak yang tidak memenuhi syarat tersebut. Besarnya nilai OTTV yang melebihi standar yang ditetapkan SNI ini dikarenakan pada perhitungan dan simulasi bangunan ditetapkan pada bangunan individu dan tidak berbatasan dengan bangunan lain. Selain itu, yang paling mempengaruhi adalah komponen kaca yang terletak pada orientasi dinding yang mendapatkan faktor radiasi paling besar.

Besarnya nilai OTTV ini dapat diperkecil dengan cara memperkecil transmitansi termal dari dinding selubung dengan jalan memberi insulasi. Selain itu, dapat juga memberi *shading* pada jendela, dimana ini dapat berupa vertikal *shading* maupun horisontal *shading*, menambah *curtain*, maupun melapisi kaca dengan menggunakan kaca film, sehingga radiasi matahari yang masuk ke dalam rumah dapat diminimalisir.

4.2. Analisa Beban Pendinginan

Beban pendinginan dari suatu bangunan dalam hal ini rumah adalah beban pendinginan untuk menetralkan beban kalor dari eksternal dan internal. Beban internal meliputi beban penghuni, beban akibat lampu, dan beban akibat peralatan yang ada di dalam rumah. Sedangkan beban eksternal lebih karena beban kalor dari selubung rumah.

Beban pendinginan ini dihitung menggunakan metode CLTD. Dimana untuk mengetahui beban pendinginan akibat selubung rumah maka beban pendinginan akibat kalor internal dari kedua rumah akan dianggap sama dan tetap pada setiap arah orientasi.

Penghuni dari kedua rumah adalah 5 orang, dan memiliki kalor laten 200 Btu/jam (55 Watt) dan kalor sensibel untuk manusia dengan kegiatan kerja ringan adalah 250 Btu/jam (75 Watt). Sehingga dengan menganggap penghuni berada di dalam rumah selama 12 jam maka beban pendinginan setelah 24 jam penghuni berada di dalam ruangan adalah 1050 Btu/jam atau $307,73 \text{ Watt}$.

Banyaknya lampu yang ada di dalam kedua rumah adalah 6 buah dengan daya masing-masing 15 Watt. Jika lampu dinyalakan selama 12 jam maka beban pendinginan setelah 24 jam lampu dinyalakan adalah 24,57 Btu/jam atau 7,2 Watt.

Sedangkan dari peralatan lain yang ada di dalam rumah seperti televisi, lemari es, mesin cuci, dan komputer memiliki beban pendinginan total sebesar 43,3 Watt. Sehingga total beban pendinginan internal adalah 358,24 Watt.

Dengan menggunakan metode CLTD maka didapatkan beban pendinginan untuk rumah bata dan rumah kayu dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7 Beban Pendinginan rumah kayu dan rumah bata menggunakan metode CLTD

Orientasi	Beban Pendinginan Rumah Kayu	Beban Pendinginan Rumah Bata
	W	W
Utara	7.885,07	3.548,42
Selatan	7.964,26	3.750,02
Barat	7.447,64	3.646,57
Timur	8.138,88	3.106,18

Dapat dilihat bahwa berdasarkan perhitungan CLTD maka beban pendinginan untuk rumah kayu jauh lebih besar bila dibandingkan dengan rumah bata. Hal ini dapat terjadi dikarenakan bagian dalam rumah kayu mendapatkan panas matahari lebih banyak karena memiliki komponen kaca yang lebih besar, sehingga memperbesar beban pendinginan dari radiasi matahari melalui kaca. Selain itu dipengaruhi juga dengan perbedaan $CLTD_{corr}$ dari kedua bahan selubung. Untuk rumah dengan selubung kayu berdasarkan tabel pada ASHRAE nilai $CLTD_{corr}$ lebih tinggi bila dibandingkan dengan rumah dengan selubung bata. Hal ini disebabkan oleh nilai transmitansi termal dari dinding kayu yang bernilai $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, dimana jauh lebih besar dibandingkan transmitansi termal dinding bata yaitu 5,4

W/m^2K . Nilai transmitansi termal ini mempengaruhi kemampuan bahan untuk mentransfer panas atau kalor.

Berdasarkan tabel 4.7, dengan diketahuinya bahwa luas lantai untuk rumah fasad kayu adalah $131,04 \text{ m}^2$ dan luas lantai rumah fasad bata adalah $66,1 \text{ m}^2$ maka didapatkan beban pendinginan persatuan luas lantai adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Beban Pendinginan rumah kayu dan rumah bata per satuan luas lantai

Orientasi	Beban Pendinginan Rumah Kayu (W/m²)	Beban Pendinginan Rumah Bata (W/m²)
Utara	60,17	53,68
Selatan	60,78	56,73
Barat	56,83	55,17
Timur	62,11	47,81

Selain berdasarkan perhitungan menggunakan metode CLTD beban pendinginan juga dihitung dengan cara disimulasikan menggunakan *Ecotect Analysis*. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.9, beban pendinginan hasil simulasi ini dilakukan pada delapan orientasi arah mata angin. Pada simulasi menggunakan Ecotect ini beban pendinginan langsung dihitung selama waktu 1 tahun dari bulan Januari hingga Desember.

Tabel 4.9 Beban Pendinginan rumah kayu dan rumah bata hasil simulasi menggunakan *Ecotect Analysis*

Orientasi	Rumah kayu		Rumah Bata	
	Wh	Wh/m2	Wh	Wh/m2
Utara	33.454.636	255.289,26	19.153.386	289.763,78
Selatan	34.842.224	265.877,81	18.940.788	286.547,47
Barat	33.941.889	259.007,44	19.520.809	295.322,38
Timur	34.762.567	265.269,96	19.181.624	290.190,98
Barat Laut	33.633.072	256.650,89	19.438.236	294.073,16
Timur Laut	34.330.497	261.972,87	19.198.375	290.444,40
Barat Daya	34.700.464	264.796,06	19.273.266	291.577,40
Tenggara	35.061.742	267.552,94	18.954.481	286.754,63

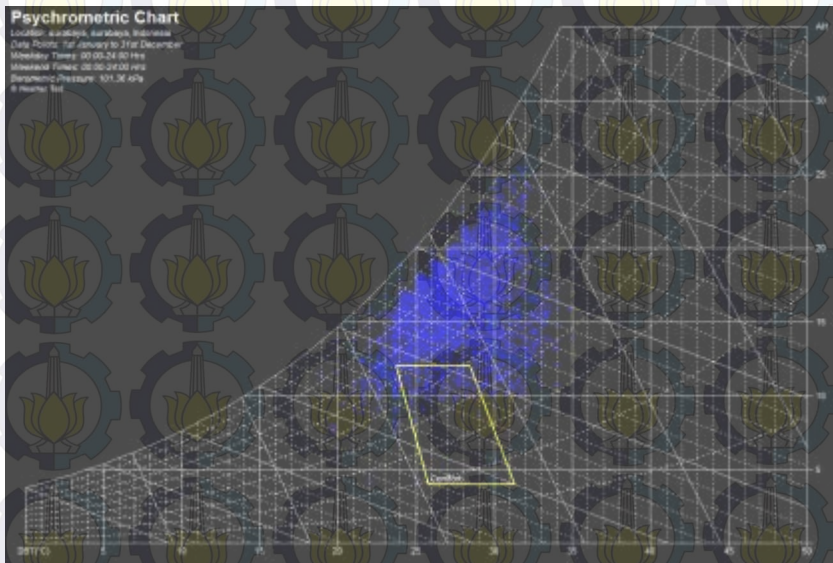
Dari hasil simulasi didapatkan pula bahwa beban pendinginan dari rumah kayu lebih besar dari pada beban pendinginan pada rumah bata. Namun terdapat perbedaan pada besarnya beban pendinginan dari hasil simulasi menggunakan *Ecotect Analysis* dan perhitungan dengan menggunakan CLTD.

Hal ini dapat ditandai misalnya pada orientasi arah utara, pada hasil perhitungan CLTD didapatkan daya beban pendinginan 7.885,07 W namun pada hasil simulasi menggunakan *Ecotect* didapatkan daya beban pendinginan 3.872,06 W. Ini dapat disebabkan karena pada perhitungan beban pendinginan internal hanya meliputi beban kalor karena penghuni, lampu, dan infiltrasi. Dimana tidak menghiraukan beban kalor yang disumbangkan oleh peralatan lain yang mungkin ada di dalam rumah seperti televisi, mesin cuci, lemari es, dan sebagainya.

Beban pendinginan ini nantinya akan ditiadakan dengan cara mengganti dengan beban pendinginan menggunakan AC (*air conditioning*). Sehingga secara tidak langsung dengan mengetahui beban pendinginan akan diketahui konsumsi energi hanya untuk segi pendinginan dan pengkondisian udara dalam rumah.

4.3. Analisa Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal dalam bangunan dalam hal ini rumah sangat dipengaruhi oleh keadaan iklim di luar rumah. Pada daerah Surabaya, yang terletak pada 7° Lintang Selatan dan 112° Bujur Timur, dengan menggunakan *Psychrometric Chart* yang ada pada *Ecotect Analysis* didapatkan wilayah zona nyaman seperti yang ditunjukkan oleh garis kuning pada gambar 4.3.

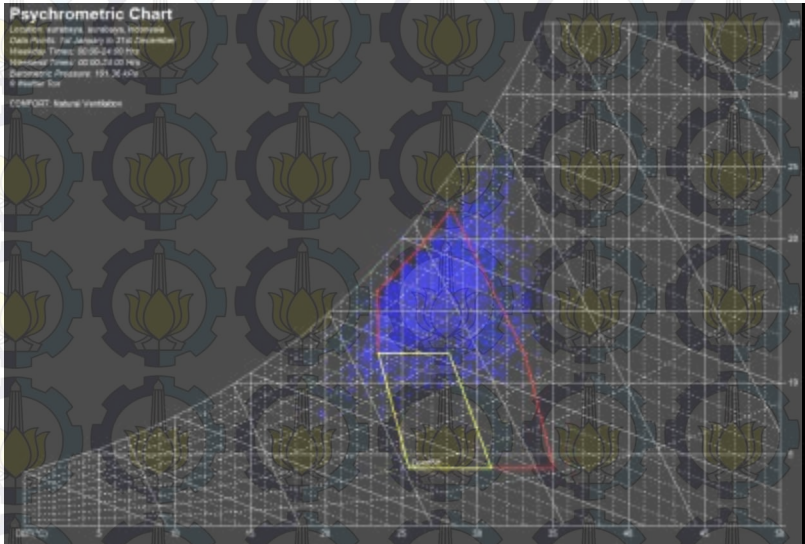


Gambar 4.3 *Comfort zone* wilayah Surabaya

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa titik-titik berwarna biru adalah persebaran kota Surabaya perjamnya, dan wilayah yang dilingkupi garis kuning adalah zona nyaman wilayah Surabaya. Berdasarkan diagram psychrometric diatas, zona nyaman untuk wilayah Surabaya berada pada rentang *Relative Humidity* 15% - 65% dan suhu pada rentang 24°C – 31°C .

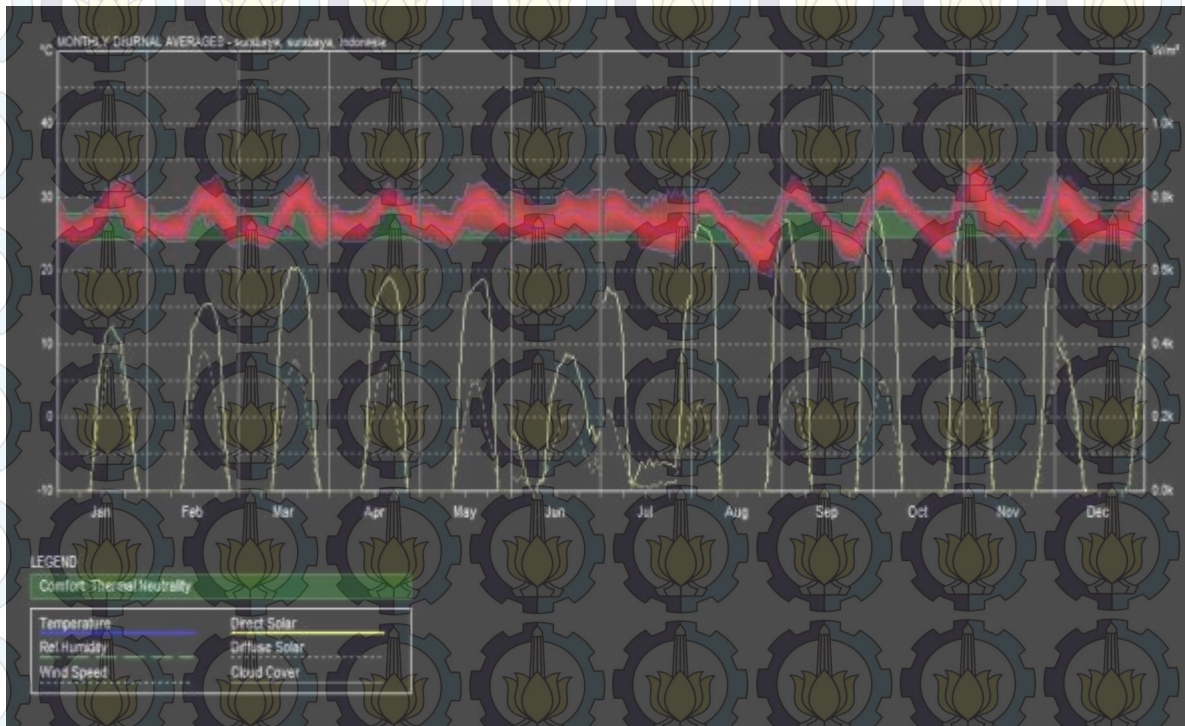
Dapat dilihat bahwa mayoritas titik-titik berwarna biru tidak berada pada zona nyaman. Maka perlu adanya kontrol untuk mengusahakan agar temperatur berada pada zona nyaman. Kontrol aktif dapat berupa adanya pendinginan dengan

menggunakan *air conditioning*. Sedangkan kontrol pasif dapat berupa ventilasi natural yang ada pada rumah.



Gambar 4.4 *Comfort zone* wilayah Surabaya setelah adanya ventilasi natural pada bangunan

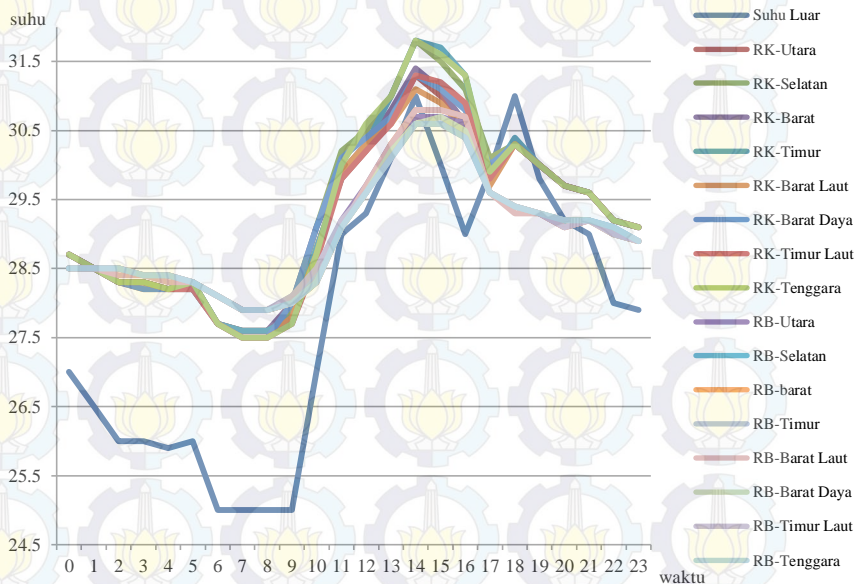
Untuk wilayah Surabaya ventilasi natural cukup membantu meningkatkan kenyamanan termal dalam ruangan. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 4.4 di atas. Dimana luasan *comfort zone* diperluas dengan tambahan luasan yang dilingkupi garis merah. Sedangkan persebaran suhu yang lain yang tidak dapat ditangani oleh ventilasi udara dapat ditangani oleh pengkondisian udara dalam ruangan dengan menggunakan *air conditioner*.



Gambar 4.5 Rata-rata diurnal bulanan daerah Surabaya

Berdasarkan rata-rata diurnal bulanan yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa persebaran temperatur dari daerah surabaya berada pada rentang kenyamanan *thermal neutrality* pada *Ecotect Analysis*.

Untuk mengetahui temperatur dalam rumah fasad kayu dan rumah fasad bata dilakukan simulasi di *Ecotect*. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.6, rumah kayu relatif lebih panas saat di siang hari daripada rumah bata. Pada saat siang hari atau pada rentang pukul 11.00 hingga 16.00 temperatur rumah kayu lebih besar daripada rumah bata, namun temperatur di dalam rumah kayu ini lebih cepat turun pada malam hari. Hal ini ditandai dengan pada saat malam hari temperatur rumah kayu relatif sama dengan temperatur rumah bata. Ini disebabkan karena dinding bata memiliki kemampuan menyimpan panas yang lebih dari pada dinding kayu.



Gambar 4.6 Perbandingan temperatur dalam rumah kayu dan rumah bata

Berdasarkan zona nyaman pada gambar 4.3, mayoritas persebaran temperatur tiap jamnya pada rumah kayu dan rumah bata masih berada di dalam batas zona nyaman. Kecuali pada rumah kayu pukul 14.00 untuk semua arah mata angin memiliki suhu dalam rumah pada kisaran 31°C - $31,8^{\circ}\text{C}$.

Berdasarkan hasil simulasi, rumah kayu relatif memiliki beban kalor selubung, beban pendinginan, dan temperatur dalam rumah yang lebih tinggi. Dimana hal ini disebabkan oleh transmitansi termal dari kayu yang lebih besar dari pada transmitansi termal bata. Sehingga pada siang hari dan terpapar matahari beban kalor rumah kayu lebih tinggi dari pada rumah bata, dan menyebabkan naiknya suhu dalam rumah kayu. Namun saat beranjak malam, suhu dalam rumah kayu beranjak menyamai suhu dalam rumah bata, karena kayu memiliki *time lag* yang lebih kecil dari pada bata.

Untuk menghindari terperangkapnya suhu yang lebih tinggi di rumah kayu pada saat siang hari dapat diminimalisir dengan adanya sirkulasi udara yang cukup pada rumah kayu. Dengan sirkulasi yang cukup maka akan ada pergerakan udara yang masuk dan akan membawa kalor berlebih di dalam rumah ke luar. Namun perlu adanya pertimbangan agar suhu di dalam rumah kayu tetap dalam rentang zona nyaman. Dimana dalam penelitian ini tidak dilakukan lebih lanjut tentang pengaruh ventilasi terhadap persebaran suhu dalam ruangan.

Selain itu, untuk mengurangi beban kalor yang berlebih yang berpengaruh pada nilai OTTV, dapat digunakan jenis kaca yang *low-emitted*. Dimana jenis kaca ini memiliki faktor transmitansi kalor yang lebih kecil. Dan memperhatikan jenis *shading*.

Dari hasil perhitungan maupun simulasi untuk rumah kayu dan rumah bata, dapat dikatakan bahwa rumah fasad bata relatif lebih baik dalam hal konservasi energi pendinginan dari pada rumah dengan fasad kayu.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

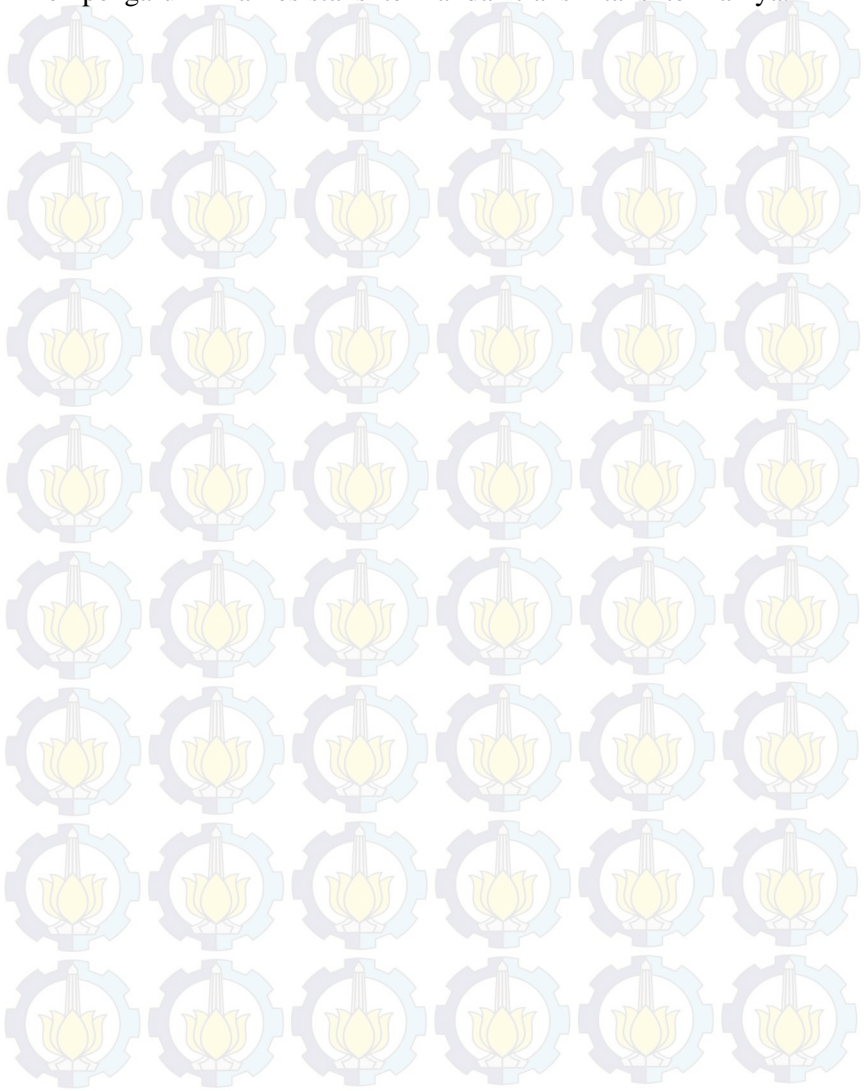
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Dalam analisa beban kalor pada selubung pada simulasi didapatkan nilai OTTV paling kecil dari rumah kayu adalah menghadap arah tenggara yaitu $44,19 \text{ W/m}^2$ sedangkan rumah bata menghadap arah selatan dengan nilai $39,12 \text{ W/m}^2$, yang dipengaruhi oleh *incident solar radiation*.
- Dari hasil perhitungan dan simulasi didapatkan fasad kayu dengan tebal 3 cm dan nilai transmitansi termal $2,95 \text{ W/m}^2\text{K}$ lebih menghantarkan kalor dari pada fasad bata dengan tebal 15 cm dan nilai transmitansi termal $2,87 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Pada hasil simulasi model rumah bata didapatkan rata-rata OTTV fasad bata sebesar $53,40 \text{ W/m}^2$ dan rata-rata OTTV pada fasad kayu sebesar $53,88 \text{ W/m}^2$. Ini menegaskan objek fasad kayu lebih menghantarkan kalor daripada fasad bata.
- Beban pendinginan yang paling kecil dari arah rumah kayu adalah arah barat sebesar $56,83 \text{ W/m}^2$ sedangkan untuk rumah bata adalah arah timur sebesar $47,81 \text{ W/m}^2$.
- Besarnya nilai OTTV pada rumah kayu menyebabkan suhu dalam rumah fasad kayu pada siang hari lebih tinggi daripada suhu dalam rumah fasad bata.

5.2. Saran

Dari penelitian ini, dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mempertimbangkan nilai resistansi termal dari dinding rumah kayu sehingga nilai OTTV dari kedua rumah lebih dapat dibandingkan secara akurat dibandingkan dengan perhitungan OTTV dengan menggunakan keadaan dinding kayu sebenarnya. Dimana nilai resistansi termal rumah kayu ini dapat dipengaruhi oleh ketebalan dari dinding kayu maupun komposisi susunan dari dinding rumah kayu. Komposisi susunan ini dapat dilakukan

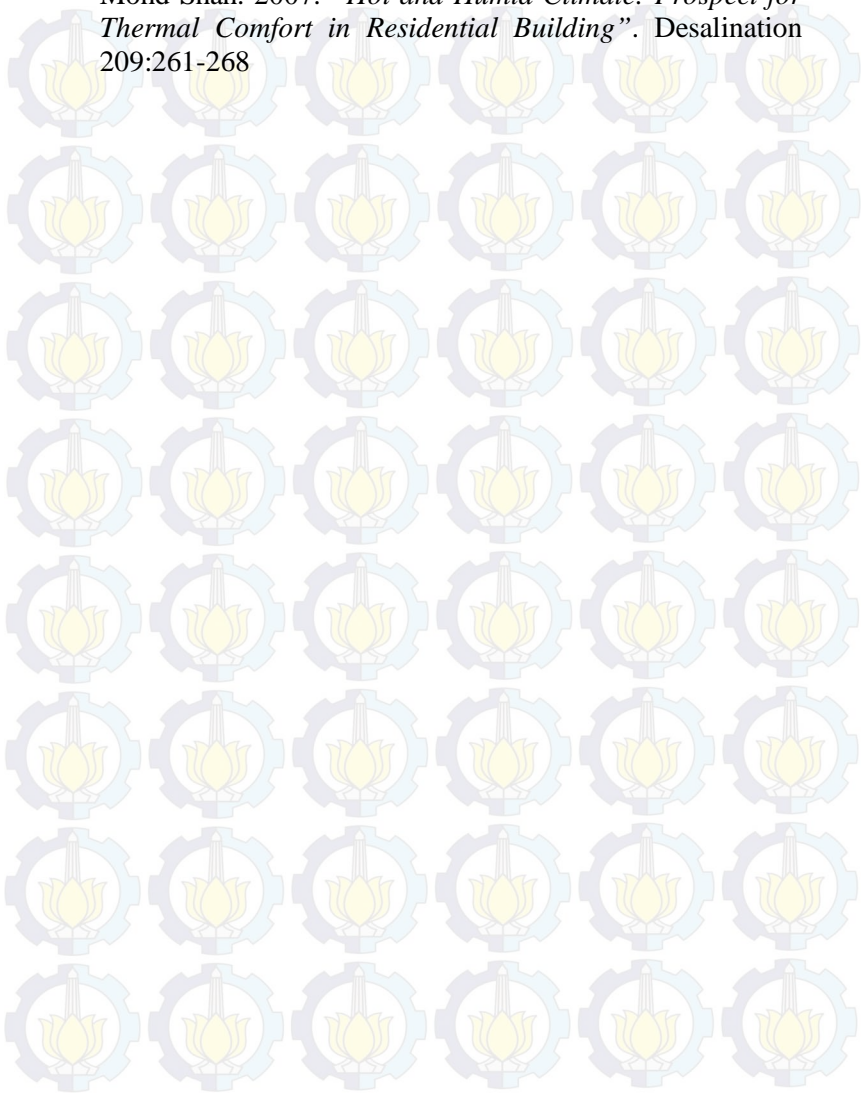
misalnya dengan membuat dobel lapisan kayu sehingga akan mempengaruhi nilai resistansi termal dan transmitansi termalnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2011. “ SNI 03-6389-2011 *tentang Konservasi Energi Selubung pada Bangunan Gedung*”
- Devgan, Seema, A.K. Jain, dan B. Bhattacharjee. 2010. “*Predetermined overall thermal transfer value coefficients for composite, hot-dry, and warm-humid climates*”. *Energy and Buildings* 42: 1841-1861.
- F.W.H Yik, dan K.S.Y Wan, “*An evaluation of the appropriateness of using overall thermal transfer value (OTTV) to regulate envelope energy performance of air-conditioned buildings*”. *Energy* 30:41-71.
- Incropera, Frank P, Dewitt, David P, Bergman, Theodore L, Lavine, Adrienne S. 2007. “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer (6th edition)*”. United States of America: John Wiley & Sons.
- K.J. Chua, dan S.K. Chou. 2011. “*A performance-based method for energy efficiency improvement of buildings*”. *Energy Conversion and Management* 52: 1829-1839.
- K.J. Chua, dan S.K. Chou. 2010. “*Energy performance of residential buildings in Singapore*”. *Energy* 35:667-678
- Kuehn, Thomas K, Ramsey, James W, dan Threlkeld, James L. 2001. “*Thermal Environmental Engineering: Third Edition*”. United States of America: Prentice-Hall Inc.
- Loekita, Sandra. 2007. “*Analisis Konservasi Energi Melalui Selubung Bangunan*”. Surabaya:Universitas Kristen Petra, Jurusan Teknik Sipil
- Sholichin, Yurio Provandi. Januari 2012. “*Pengaruh Material Dinding terhadap Nilai OTTV pada Berbagai Orientasi Bangunan. Studi Kasus Rumah Sederhana Tipe 36*”. Depok: Universitas Indonesia, Departemen Arsitektur
- Szokolay, Steven V. 2008. “*Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design 2nd Edition*”. United States of America: Architectural Press (Elsevier)

Zain, Zainazlan Md, Taib, Mohd Nasir, dan Baki, Shahrizam Mohd Shah. 2007. *“Hot and Humid Climate: Prospect for Thermal Comfort in Residential Building”*. Desalination 209:261-268



LAMPIRAN A
PERHITUNGAN BEBAN SELUBUNG BANGUNAN
(OTTV)

A. Perhitungan OTTV pada Rumah Bata

Konduktivitas termal dinding bata yang dipleseter adalah 0,81 W/m.K. Tebal dinding rumah bata adalah 15 cm. Sehingga nilai transmitansi termal (U) untuk dinding adalah

$$\begin{aligned} R_{bata} &= \frac{0,15}{0,81} = 0,185 \, m^2 K/W \\ U_{bata} &= \frac{1}{R_{total}} \\ &= \frac{1}{(0,044 + 0,185 + 0,12)} = 2,87 \, W/m^2 K \end{aligned}$$

Konduktivitas termal kaca adalah 1,05 W/m.K. Tebal kaca adalah 3 mm. Sehingga nilai transmitansi termal (U) untuk kaca adalah

$$\begin{aligned} R_{kaca} &= \frac{0,003}{1,05} = 0,0029 \, m^2 K/W \\ U_{kaca} &= \frac{1}{R_{total}} \\ &= \frac{1}{(0,044 + 0,0029 + 0,12)} = 5,99 \, W/m^2 K \end{aligned}$$

Konduktivitas termal pintu kayu adalah 0,17 W/m.K. Tebal pintu kayu adalah 5 cm. Sehingga nilai transmitansi termal (U) untuk pintu kayu adalah

$$R_{kayu} = \frac{0,05}{0,17} = 0,29 \text{ m}^2 K/W$$

$$U_{kayu} = \frac{1}{R_{total}}$$

$$= \frac{1}{(0,044 + 0,29 + 0,12)} = 2,22 \text{ W/m}^2 K$$

Shading coefficient dari kaca juga akan diperlukan untuk menghitung OTTV. Dalam penelitian ini kaca untuk bangunan adalah kaca *single clear* dengan nilai SC 0,86.

- Orientasi rumah menghadap utara
Sehingga untuk rumah bata yang menghadap arah utara, nilai OTTV akan dihitung sebagai berikut.

- Dinding bagian utara

$$OTTV_{utara} = \left[0,78 \times \frac{A_{kayu}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{kayu} \times TD_{ek} \right] + \dots$$

$$\dots + \left[0,89 \times \frac{A_{bata}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{bata} \times TD_{ek} \right] + \dots$$

$$\dots + [WWR \times U_{lantai} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$OTTV_{utara} = \left[0,78 \times \frac{3,20}{36,80} (1 - 0,21) \times 2,22 \times 15 \right] + \dots$$

$$\dots + \left[0,89 \times \frac{25,86}{36,80} (1 - 0,21) \times 2,86 \times 15 \right] + \dots$$

$$\dots + [0,21 \times 5,99 \times 5] + [0,21 \times 0,86 \times 130]$$

$$OTTV_{utara} = 59,16 \text{ W/m}^2$$

- Dinding bagian timur, barat, dan selatan masing-masing nilai OTTV adalah

$$OTTV = [0,89 \times (1 - 0) \times 2,86 \times 15]$$

$$OTTV = 38,16 \text{ W/m}^2$$

Dan OTTV untuk masing-masing dinding dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Dinding	Total luas dinding (m ²)	OTTV (W/m ²)
Bagian Utara	36,80	59,16
Bagian Timur	32	38,16
Bagian Selatan	36,80	38,16
Bagian Barat	32	38,16

Sehingga OTTV total untuk rumah bata orientasi arah Utara adalah

$$OTTV_{total} = \frac{(36,80 \times 59,16) + (32 \times 38,16) + (36,80 \times 38,16) + (32 \times 38,16)}{(36,80 + 32 + 36,80 + 32)}$$

$$OTTV_{total} = 43,77 \text{ W/m}^2$$

- Orientasi rumah menghadap selatan

Sehingga untuk rumah bata yang menghadap arah selatan, nilai OTTV akan dihitung sebagai berikut.

- Dinding bagian selatan

$$OTTV_{selatan} = \left[0,78 \times \frac{A_{kayu}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{kayu} \times TD_{ek} \right] + \dots$$

$$\dots + \left[0,89 \times \frac{A_{bata}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{bata} \times TD_{ek} \right] + \dots$$

$$\dots + [WWR \times U_{lantai} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$\begin{aligned}
 OTTV_{selatan} &= \left[0,78 \times \frac{3,20}{36,80} (1 - 0,21) \times 2,22 \times 15 \right] + \dots \\
 &\dots + \left[0,89 \times \frac{25,86}{36,80} (1 - 0,21) \times 2,86 \times 15 \right] + \dots \\
 &\dots + [0,21 \times 5,99 \times 5] + [0,21 \times 0,86 \times 97] \\
 OTTV_{selatan} &= 53,12 \frac{W}{m^2}
 \end{aligned}$$

- Dinding bagian timur, barat, dan utara masing-masing nilai OTTV adalah

$$\begin{aligned}
 OTTV &= [0,89 \times (1 - 0) \times 2,86 \times 15] \\
 OTTV &= 38,16 \frac{W}{m^2}
 \end{aligned}$$

Dan OTTV untuk masing-masing dinding dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Dinding	Total luas dinding (m ²)	OTTV (W/m ²)
Bagian Utara	36,80	38,16
Bagian Timur	32	38,16
Bagian Selatan	36,80	53,12
Bagian Barat	32	38,16

Sehingga OTTV total untuk rumah bata orientasi arah selatan adalah

$$OTTV_{total} = \frac{(36,80 \times 53,12) + (32 \times 38,16) + (36,80 \times 38,16) + (32 \times 38,16)}{(36,80 + 32 + 36,80 + 32)}$$

$$OTTV_{total} = 42,16 \frac{W}{m^2}$$

- Orientasi rumah menghadap timur

Sehingga untuk rumah bata yang menghadap arah timur, nilai OTTV akan dihitung sebagai berikut.

- Dinding bagian timur

$$OTTV_{\text{timur}} = \left[0,78 \times \frac{A_{\text{kayu}}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{\text{kayu}} \times TD_{\text{ek}} \right] + \dots$$

$$\dots + \left[0,89 \times \frac{A_{\text{bata}}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{\text{bata}} \times TD_{\text{ek}} \right] + \dots$$

$$\dots + [WWR \times U_{\text{kaca}} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$OTTV_{\text{timur}} = \left[0,78 \times \frac{3,20}{36,80} (1 - 0,21) \times 2,22 \times 15 \right] + \dots$$

$$\dots + \left[0,89 \times \frac{25,86}{36,80} (1 - 0,21) \times 2,86 \times 15 \right] + \dots$$

$$\dots + [0,21 \times 5,99 \times 5] + [0,21 \times 0,86 \times 112]$$

$$OTTV_{\text{timur}} = 55,87 \text{ W/m}^2$$

- Dinding bagian selatan, barat, dan utara masing-masing nilai OTTV adalah

$$OTTV = [0,89 \times (1 - 0) \times 2,86 \times 15]$$

$$OTTV = 38,16 \text{ W/m}^2$$

Dan OTTV untuk masing-masing dinding dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Dinding	Total luas dinding (m ²)	OTTV (W/m ²)
Bagian Utara	36,80	38,16
Bagian Timur	32	55,87
Bagian Selatan	36,80	38,16
Bagian Barat	32	38,16

Sehingga OTTV total untuk rumah bata orientasi arah timur adalah

$$OTTV_{total} = \frac{(36,80 \times 38,16) + (32 \times 55,87) + (36,80 \times 38,16) + (32 \times 38,16)}{(36,80 + 32 + 36,80 + 32)}$$

$$OTTV_{total} = 42,89 \frac{W}{m^2}$$

- Orientasi rumah menghadap barat

Sehingga untuk rumah bata yang menghadap arah barat, nilai OTTV akan dihitung sebagai berikut.

- Dinding bagian barat

$$\begin{aligned} OTTV_{barat} &= \left[0,78 \times \frac{A_{luyu}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{luyu} \times TD_{ek} \right] + \dots \\ &\dots + \left[0,89 \times \frac{A_{bata}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{bata} \times TD_{ek} \right] + \dots \\ &\dots + [WWR \times U_{kaca} \times DT] + [WWR \times SC \times SF] \\ OTTV_{barat} &= \left[0,78 \times \frac{3,20}{36,80} (1 - 0,21) \times 2,22 \times 15 \right] + \dots \\ &\dots + \left[0,89 \times \frac{25,86}{36,80} (1 - 0,21) \times 2,86 \times 15 \right] + \dots \\ &\dots + [0,21 \times 5,99 \times 5] + [0,21 \times 0,86 \times 273] \end{aligned}$$

$$OTTV_{barat} = 85,33 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian selatan, barat, dan utara masing-masing nilai OTTV adalah

$$OTTV = [0,89 \times (1 - 0) \times 2,86 \times 15]$$

$$OTTV = 38,16 \frac{W}{m^2}$$

Dan OTTV untuk masing-masing dinding dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Dinding	Total luas dinding (m ²)	OTTV (W/m ²)
Bagian Utara	36,80	38,16
Bagian Timur	32	38,16
Bagian Selatan	36,80	38,16
Bagian Barat	32	85,33

Sehingga OTTV total untuk rumah bata orientasi arah timur adalah

$$OTTV_{total} = \frac{(36,80 \times 38,16) + (32 \times 85,33) + (36,80 \times 38,16) + (32 \times 38,16)}{(36,80 + 32 + 36,80 + 32)}$$

$$OTTV_{total} = 50,77 \text{ W/m}^2$$

B. Perhitungan OTTV pada Rumah Kayu

Konduktivitas termal dinding kayu adalah 0,17 W/m.K. Tebal pintu kayu adalah 3 cm. Sehingga nilai transmitansi termal (U) untuk pintu kayu adalah

$$R_{kayu} = \frac{0,03}{0,174} = 0,17 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$U_{kayu} = \frac{1}{R_{total}}$$

$$= \frac{1}{(0,044 + 0,174 + 0,12)} = 2,95 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konduktivitas termal dinding bata yang dipelster adalah 0,81 W/m.K. Tebal dinding rumah bata adalah 15 cm. Sehingga nilai transmitansi termal (U) untuk dinding adalah

$$R_{bata} = \frac{0,15}{0,81} = 0,185 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$U_{bata} = \frac{1}{R_{total}}$$

$$= \frac{1}{(0,044 + 0,185 + 0,12)} = 2,87 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konduktivitas termal kaca adalah 1,05 W/m.K. Tebal kaca adalah 3 mm. Sehingga nilai transmitansi termal (U) untuk kaca adalah

$$R_{kaca} = \frac{0,003}{1,05} = 0,0029 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$U_{kaca} = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{(0,044 + 0,0029 + 0,12)} = 5,99 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Shading coefficient dari kaca juga akan diperlukan untuk menghitung OTTV. Dalam penelitian ini kaca untuk bangunan adalah kaca *single clear* dengan nilai SGHC adalah 0,86. Dimana nilai SC dari alat peneduh adalah 0,92.

Sehingga dari SC dari kaca adalah

$$SC_2 = \frac{0,86}{0,87} = 0,98$$

- Orientasi rumah menghadap utara

Sehingga untuk rumah bata yang menghadap arah utara, nilai OTTV akan dihitung sebagai berikut.

- Dinding bagian utara

$$OTTV_{utara} = 0.78 \times U_{kayu_jati} \times TD_{ek}$$

$$OTTV_{utara} = 0.78 \times 2,95 \times 15 = 34,57 \text{ W/m}^2$$

- Dinding bagian timur

$$OTTV_{timur} = [(1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times 0,78 \times TD_{ek}] + \dots + [WWR \times U_{kaca} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$OTTV_{timur} = [(1 - 0,54) \times 2,95 \times 0,78 \times 15] + \dots +$$

$$+ [0,54 \times 5,99 \times 5] + [0,54 \times 0,92 \times 0,98 \times 112]$$

$$OTTV_{timur} = 87,20 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian selatan

$$OTTV_{selatan} = \left[0,78 \times \frac{A_{lantai}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{lantai} \times TD_{ek} \right] + \left[0,89 \times \frac{A_{dinding}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{dinding} \times TD_{ek} \right]$$

$$OTTV_{selatan} = \left[0,78 \times \frac{8,61}{34,92} (1 - 0) \times 2,95 \times 15 \right] + \left[0,89 \times \frac{26,31}{34,92} (1 - 0) \times 2,86 \times 15 \right]$$

$$OTTV_{selatan} = 37,27 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian barat

$$OTTV_{barat} = [(1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times 0,78 \times TD_{ek}] + \dots +$$

$$+ [WWR \times U_{kaca} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$OTTV_{barat} = [(1 - 0,09) \times 2,95 \times 0,78 \times 15] + \dots +$$

$$+ [0,09 \times 5,99 \times 5] + [0,09 \times 0,92 \times 0,98 \times 273]$$

$$OTTV_{barat} = 55,93 \frac{W}{m^2}$$

Dan OTTV untuk masing-masing dinding dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Dinding	Total luas dinding (m ²)	OTTV (W/m ²)
Bagian Utara	31,92	34,57
Bagian Timur	35,55	87,20
Bagian Selatan	31,92	37,27
Bagian Barat	35,55	55,93

Sehingga OTTV total untuk rumah kayu orientasi arah Utara adalah

$$OTTV_{total} = \frac{(31,92 \times 34,57) + (35,55 \times 87,20) + (31,92 \times 37,27) + (35,55 \times 55,93)}{(31,92 + 35,55 + 31,92 + 35,55)}$$

$$OTTV_{total} = 53,90 \frac{W}{m^2}$$

- Orientasi rumah menghadap selatan
Sehingga untuk rumah kayu yang menghadap arah selatan, nilai OTTV akan dihitung sebagai berikut.

- Dinding bagian selatan

$$OTTV_{selatan} = 0,78 \times U_{kayu_jati} \times TD_{ek}$$

$$OTTV_{selatan} = 0,78 \times 2,95 \times 15 = 34,57 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian barat

$$OTTV_{barat} = [(1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times 0,78 \times TD_{ek}] + \dots + [WWR \times U_{kaca} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$OTTV_{barat} = [(1 - 0,54) \times 2,95 \times 0,78 \times 15] + \dots + [0,54 \times 5,99 \times 5] + [0,54 \times 0,92 \times 0,98 \times 273]$$

$$OTTV_{barat} = 153,36 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian utara

$$OTTV_{utara} = \left[0,78 \times \frac{A_{sum}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{sum} \times TD_{ek} \right] + \left[0,89 \times \frac{A_{sum}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{sum} \times TD_{ek} \right]$$

$$OTTV_{utara} = \left[0,78 \times \frac{8,61}{34,92} (1 - 0) \times 2,95 \times 15 \right] + \left[0,89 \times \frac{26,31}{34,92} (1 - 0) \times 2,86 \times 15 \right]$$

$$OTTV_{utara} = 37,27 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian timur

$$OTTV_{timur} = [(1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times 0,78 \times TD_{ek}] + \dots + [WWR \times U_{kaca} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$\begin{aligned}
 OTTV_{\text{amar}} &= [(1 - 0,09) \times 2,95 \times 0,78 \times 15] + \dots + \\
 &\quad + [0,09 \times 5,99 \times 5] + [0,09 \times 0,92 \times 0,98 \times 112] \\
 OTTV_{\text{amar}} &= 43,10 \frac{W}{m^2}
 \end{aligned}$$

Dan OTTV untuk masing-masing dinding dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Dinding	Total luas dinding (m ²)	OTTV (W/m ²)
Bagian Utara	31,92	37,27
Bagian Timur	35,55	43,10
Bagian Selatan	31,92	34,57
Bagian Barat	35,55	153,36

Sehingga OTTV total untuk rumah kayu orientasi arah selatan adalah

$$OTTV_{\text{total}} = \frac{(31,92 \times 34,57) + (35,55 \times 43,10) + (31,92 \times 37,27) + (35,55 \times 153,36)}{(31,92 + 35,55 + 31,92 + 35,55)}$$

$$OTTV_{\text{total}} = 67,35 \frac{W}{m^2}$$

- Orientasi rumah menghadap barat

Sehingga untuk rumah kayu yang menghadap arah barat, nilai OTTV akan dihitung sebagai berikut.

- Dinding bagian barat

$$OTTV_{\text{barat}} = 0,78 \times U_{\text{kayu_jati}} \times TD_{\text{ek}}$$

$$OTTV_{\text{barat}} = 0,78 \times 2,95 \times 15 = 34,57 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian utara

$$\begin{aligned}
 OTTV_{\text{utara}} &= [(1 - WWR) \times U_{\text{kayu_jati}} \times 0,78 \times TD_{\text{ek}}] + \dots + \\
 &\quad + [WWR \times U_{\text{kaca}} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]
 \end{aligned}$$

$$OTTV_{utara} = [(1 - 0,54) \times 2,95 \times 0,78 \times 15] + \dots +$$

$$+ [0,54 \times 5,99 \times 5] + [0,54 \times 0,92 \times 0,98 \times 130]$$

$$OTTV_{utara} = 82,99 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian timur

$$OTTV_{timur} = \left[0,78 \times \frac{A_{kayu}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{kayu} \times TD_{ek} \right] + \left[0,89 \times \frac{A_{kaca}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{kaca} \times TD_{ek} \right]$$

$$OTTV_{timur} = \left[0,78 \times \frac{8,61}{34,92} (1 - 0) \times 2,95 \times 15 \right] + \left[0,89 \times \frac{26,31}{34,92} (1 - 0) \times 2,86 \times 15 \right]$$

$$OTTV_{timur} = 37,27 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian selatan

$$OTTV_{selatan} = [(1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times 0,78 \times TD_{ek}] + \dots +$$

$$+ [WWR \times U_{kaca} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$OTTV_{selatan} = [(1 - 0,09) \times 2,95 \times 0,78 \times 15] + \dots +$$

$$+ [0,09 \times 5,99 \times 5] + [0,09 \times 0,92 \times 0,98 \times 97]$$

$$OTTV_{selatan} = 41,90 \frac{W}{m^2}$$

Dan OTTV untuk masing-masing dinding dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Dinding	Total luas dinding (m ²)	OTTV (W/m ²)
Bagian Utara	35,55	82,99
Bagian Timur	31,92	37,27
Bagian Selatan	35,55	41,90
Bagian Barat	31,92	34,57

Sehingga OTTV total untuk rumah kayu orientasi arah barat adalah

$$OTTV_{total} = \frac{(35,55 \times 82,99) + (31,92 \times 37,27) + (35,55 \times 41,90) + (31,92 \times 34,57)}{(31,92 + 35,55 + 31,92 + 35,55)}$$

$$OTTV_{total} = 49,30 \frac{W}{m^2}$$

- Orientasi rumah menghadap timur

Sehingga untuk rumah kayu yang menghadap arah timur, nilai OTTV akan dihitung sebagai berikut.

- Dinding bagian timur

$$OTTV_{timur} = 0,78 \times U_{kayu_jati} \times TD_{ek}$$

$$OTTV_{timur} = 0,78 \times 2,95 \times 15 = 34,57 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian selatan

$$OTTV_{selatan} = [(1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times 0,78 \times TD_{ek}] + \dots + [WWR \times U_{kaca} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$OTTV_{selatan} = [(1 - 0,54) \times 2,95 \times 0,78 \times 15] + \dots + [0,54 \times 5,99 \times 5] + [0,54 \times 0,92 \times 0,98 \times 97]$$

$$OTTV_{selatan} = 44,53 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian barat

$$OTTV_{barat} = \left[0,78 \times \frac{A_{timur}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times TD_{ek} \right] + \left[0,89 \times \frac{A_{selatan}}{\Sigma A} (1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times TD_{ek} \right]$$

$$OTTV_{barat} = \left[0,78 \times \frac{8,61}{34,92} (1 - 0) \times 2,95 \times 15 \right] + \left[0,89 \times \frac{26,31}{34,92} (1 - 0) \times 2,86 \times 15 \right]$$

$$OTTV_{barat} = 37,27 \frac{W}{m^2}$$

- Dinding bagian utara

$$OTTV_{utara} = [(1 - WWR) \times U_{kayu_jati} \times 0,78 \times TD_{ek}] + \dots + [WWR \times U_{kaca} \times DT] + [WWR \times SC \times SF]$$

$$OTTV_{utara} = [(1 - 0,09) \times 2,95 \times 0,78 \times 15] + \dots + [0,09 \times 5,99 \times 5] + [0,09 \times 0,92 \times 0,98 \times 130]$$

$$OTTV_{utara} = 44,53 \text{ W/m}^2$$

Dan OTTV untuk masing-masing dinding dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Dinding	Total luas dinding (m ²)	OTTV (W/m ²)
Bagian Utara	35,55	44,53
Bagian Timur	31,92	34,57
Bagian Selatan	35,55	66,75
Bagian Barat	31,92	37,27

Sehingga OTTV total untuk rumah kayu orientasi arah barat adalah

$$OTTV_{total} = \frac{(31,92 \times 34,57) + (35,55 \times 44,53) + (31,92 \times 37,27) + (35,55 \times 66,75)}{(31,92 + 35,55 + 31,92 + 35,55)}$$

$$OTTV_{total} = 45,87 \text{ W/m}^2$$

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN BEBAN PENDINGINAN
(COOLING LOAD)

- Beban kalor internal dari penghuni dihitung dengan

$$RSHG = 5 \times 250 \frac{Btu}{h} \times CLF \times 0,293$$

$$RSHG = 5 \times 250 \frac{Btu}{h} \times 0,04 \times 0,293$$

$$RSHG = 14,65 \text{ W}$$

$$RLHG = 5 \times 200 \frac{Btu}{h} \times 0,293 = 293,08 \text{ W}$$

Sehingga beban kalor total dari penghuni adalah 307,73 W.

- Beban kalor internal dari lampu

$$RSHG = 8 \times 15 \times F_s \times CLF$$

$$RSHG = 8 \times 15 \times 1,02 \times 0,05 = 7,2 \text{ W}$$

- Beban kalor dari peralatan lain dalam rumah

Televisi

$$RSHG = 75 \times 0,02 = 1,5 \text{ W}$$

Kulkas

$$RSHG = 150 \times 0,24 = 36 \text{ W}$$

Mesin Cuci

$$RSHG = 190 \times 0,01 = 1,9 \text{ W}$$

Laptop

$$RSHG = 65 \times 0,02 \times 3 = 3,9 \text{ W}$$

Sehingga beban kalor total untuk peralatan adalah 43,3 W.

Dari perhitungan diatas, jumlah beban kalor internal adalah 358,24 Watt.

Beban Pendinginan Rumah Kayu Hadap Utara

Beban Eksternal	Dinding Bagian				Total (W)
	Utara (W)	Selatan (W)	Barat (W)	Timur (W)	
konduksi dinding	1.293,81	1.049,65	1.250,04	1.461,58	5.055,09
konduksi kaca	0.00	0.00	74.52	460.75	535,27
radiasi kaca	0.00	0.00	99.05	1.837.43	1.936,48
					7.526,84

- Konduksi dinding dan kaca
 $RSHG = U \times A \times CLTD_{corr}$

- Radiasi Kaca
 $RSHG = A \times SC \times SCL$

Orientasi dinding	CLTDcorr rumah kayu
Utara	13,74
Selatan	21,625
Barat	13,74
Timur	30,34

Sehingga beban pendinginan total adalah 7.885,07 Watt atau 60,17 W/m²

Beban Pendinginan Rumah Kayu Hadap Selatan

Beban Eksternal	Dinding Bagian				Total (W)
	Utara (W)	Selatan (W)	Barat (W)	Timur (W)	
konduksi dinding	702,65	2.036,30	661,90	2.760,27	6.161,12
konduksi kaca	0.00	0.00	74.52	460.75	535,27
radiasi kaca	0.00	0.00	297,16	612,48	909,64
					7.606,02

- Konduksi dinding dan kaca

$$RSHG = U \times A \times CLTD_{corr}$$

- Radiasi Kaca

$$RSHG = A \times SC \times SCL$$

Orientasi dinding	CLTDcorr rumah kayu
Utara	13,74
Selatan	21,625
Barat	13,74
Timur	30,34

Sehingga beban pendinginan total adalah 7.964,26Watt atau 60,78 W/m²

Beban Pendinginan Rumah Kayu Hadap Barat

Beban Eksternal	Dinding Bagian				Total (W)
	Utara (W)	Selatan (W)	Barat (W)	Timur (W)	
konduksi dinding	661,90	1.967,40	661,90	2.760,27	5.732,14
konduksi kaca	460,75	74,52	0,00	0,00	535,27
radiasi kaca	612,48	209,43	0,00	0,00	821,90
					7.089,31

- Konduksi dinding dan kaca
 $RSHG = U \times A \times CLTD_{corr}$

- Radiasi Kaca
 $RSHG = A \times SC \times SCL$

Orientasi dinding	CLTDcorr rumah kayu
Utara	13,74
Selatan	21,625
Barat	13,74
Timur	30,34

Sehingga beban pendinginan total adalah 7.447,64 Watt atau 56,83 W/m²

Beban Pendinginan Rumah Kayu Hadap Timur

Beban Eksternal	Dinding Bagian				Total (W)
	Utara (W)	Selatan (W)	Barat (W)	Timur (W)	
konduksi dinding	1.250,04	1.041,75	702,65	2.856,94	5.851,37
konduksi kaca	74,52	460,75	0,00	0,00	535,27
radiasi kaca	99,05	1.294,95	0,00	0,00	1.394,00
					7.780,64

- Konduksi dinding dan kaca

$$RSHG = U \times A \times CLTD_{corr}$$

- Radiasi Kaca

$$RSHG = A \times SC \times SCL$$

Orientasi dinding	CLTDcorr rumah kayu
Utara	13,74
Selatan	21,625
Barat	13,74
Timur	30,34

Sehingga beban pendinginan total adalah 8.138,88 Watt atau 62,11 W/m²

Beban Pendinginan Rumah Bata Hadap Utara

Beban Eksternal	Dinding Bagian				Total (W)
	Barat (W)	Selatan (W)	Utara (W)	Timur (W)	
konduksi dinding	430,14	699,90	347,61	1.262,98	2.740,63
konduksi kaca	0.00	0.00	213,87	0.00	213,87
radiasi kaca	0.00	0.00	235,68	0.00	235,68
					3.190,18

- Konduksi dinding dan kaca
 $RSHG = U \times A \times CLTD_{corr}$

- Radiasi Kaca
 $RSHG = A \times SC \times SCL$

Orientasi dinding	CLTDcorr rumah bata
Utara	4.7
Selatan	6.65
Barat	4.7
Timur	13.8

Sehingga beban pendinginan total adalah 3.548,42 Watt atau 53,68 W/m²

Beban Pendinginan Rumah Bata Hadap Selatan

Beban Eksternal	Dinding Bagian				Total (W)
	Timur (W)	Utara (W)	Selatan (W)	Barat (W)	
konduksi dinding	1.262,98	494,67	491,83	430,14	2.679,62
konduksi kaca	0.00	0.00	213,87	0.00	213,87
radiasi kaca	0.00	0.00	498,30	0.00	498,30
					3.391,78

- Konduksi dinding dan kaca

$$RSHG = U \times A \times CLTD_{corr}$$

- Radiasi Kaca

$$RSHG = A \times SC \times SCL$$

Orientasi dinding	CLTDcorr rumah bata
Utara	4.7
Selatan	6.65
Barat	4.7
Timur	13.8

Sehingga beban pendinginan total adalah 3.750,02 Watt atau 56,73 W/m²

Beban Pendinginan Rumah Bata Hadap Barat

Beban Eksternal	Dinding Bagian				Total (W)
	Utara (W)	Selatan (W)	Barat (W)	Timur (W)	
konduksi dinding	430,14	608,61	347,61	1.452,42	2.838,78
konduksi kaca	0.00	0.00	213,87	0.00	213,87
radiasi kaca	0.00	0.00	235,68	0.00	235,68
					3.288,33

- Konduksi dinding dan kaca
 $RSHG = U \times A \times CLTD_{corr}$

- Radiasi Kaca
 $RSHG = A \times SC \times SCL$

Orientasi dinding	CLTDcorr rumah bata
Utara	4.7
Selatan	6.65
Barat	4.7
Timur	13.8

Sehingga beban pendinginan total adalah 3.646,57 Watt atau 55,17 W/m²

Beban Pendinginan Rumah Bata Hadap Timur

Beban Eksternal	Dinding Bagian				Total (W)
	Barat (W)	Selatan (W)	Utara (W)	Timur (W)	
konduksi dinding	430,14	608,61	347,61	494,67	1.881,03
konduksi kaca	0.00	0.00	213,87	0.00	213,87
radiasi kaca	0.00	0.00	707,05	0.00	707,05
					2.801,94

- Konduksi dinding dan kaca

$$RSHG = U \times A \times CLTD_{corr}$$

- Radiasi Kaca

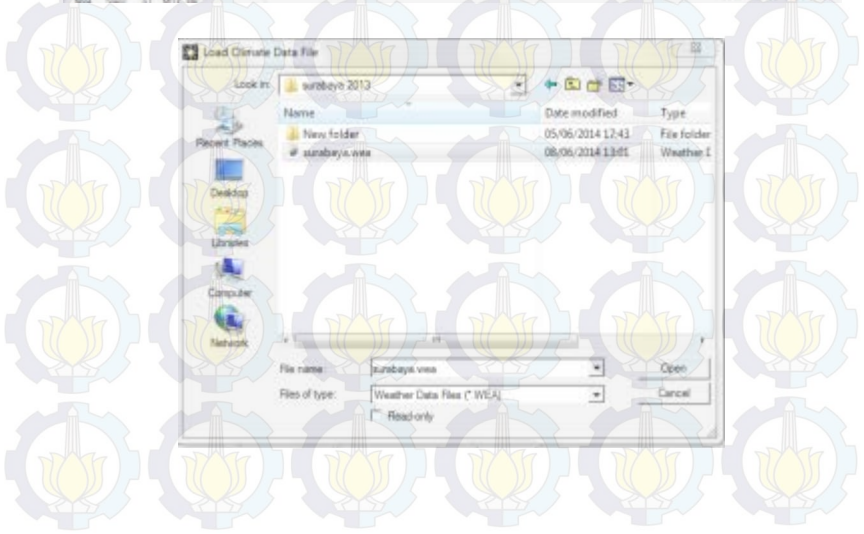
$$RSHG = A \times SC \times SCL$$

Orientasi dinding	CLTDcorr rumah bata
Utara	4.7
Selatan	6.65
Barat	4.7
Timur	13.8

Sehingga beban pendinginan total adalah 3.106,18 Watt atau 47,81 W/m²



Hal pertama yang dilakukan adalah memasukkan data cuaca dari kota Surabaya

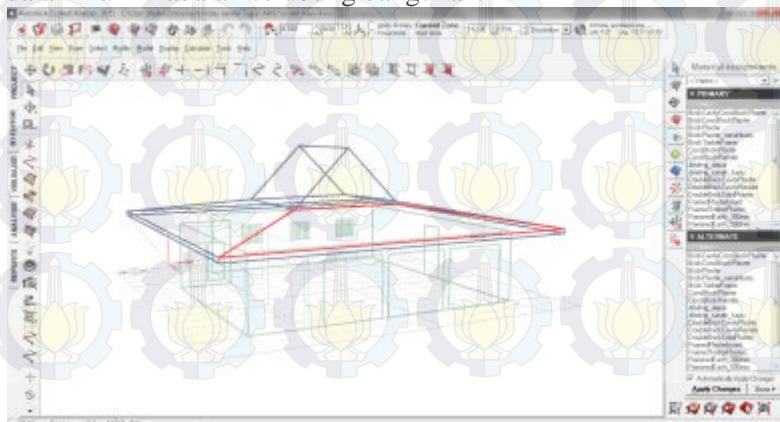


- **Simulasi Beban Kalor Selubung**

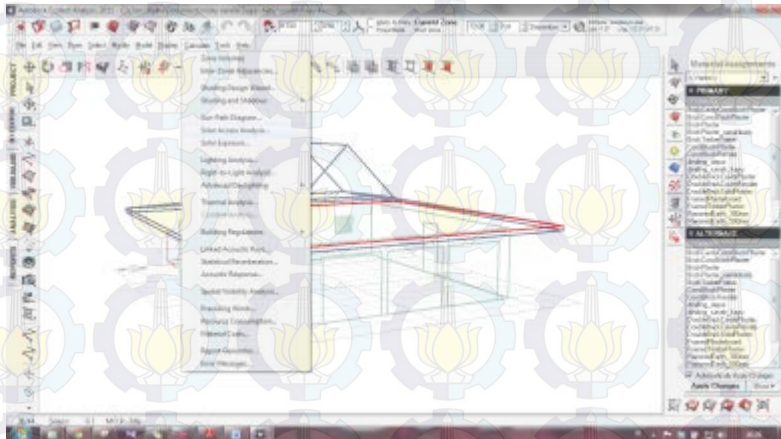
Setelah proses menggambar objek selesai selanjutnya mendefinisikan material penyusun dari bangunan misalnya dinding. Yaitu memilih pada kolom material seperti pada gambar di bawah ini



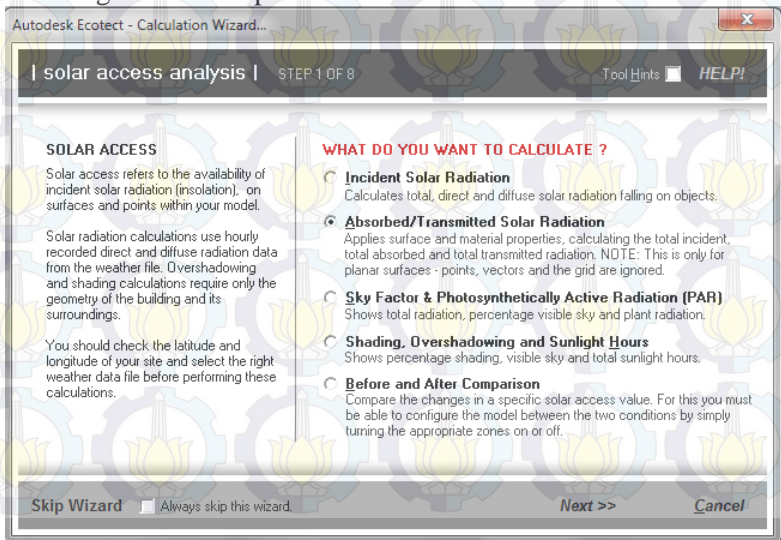
Setelah semua material penyusun bangunan telah sesuai dengan keadaan objek penelitian. Maka selanjutnya mengeklik bagian dinding yang akan dievaluasi beban kalornya. Dimana dalam hal ini adalah selubung bangunan.



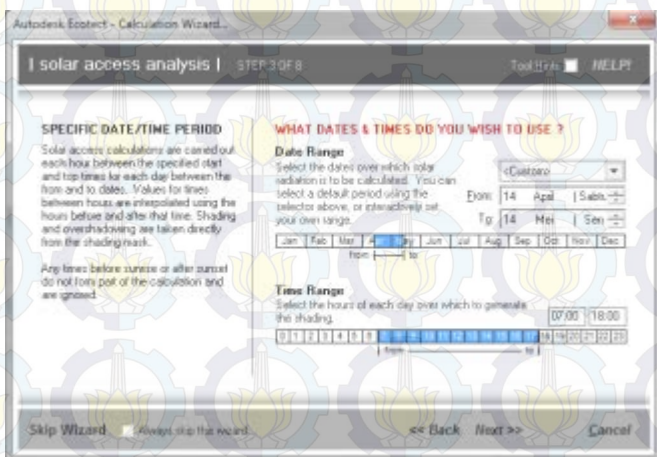
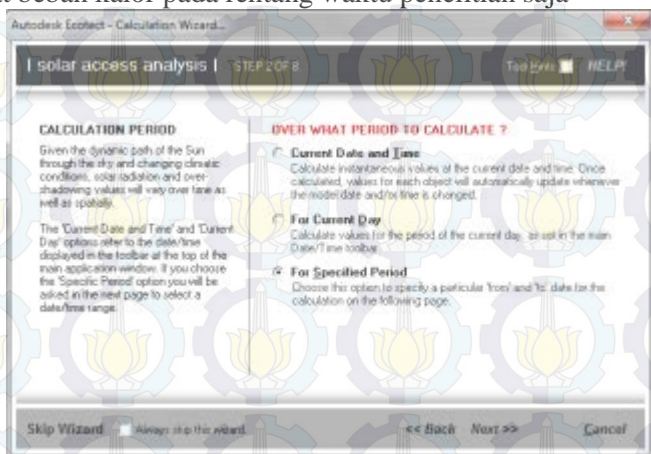
Selanjutnya memilih *solar access analysis* pada kolom calculate



Kemudian yang kita pilih adalah *Absorbed/Transmitted Solar Radiation* karena kita akan mensimulasikan beban kalor selubung. Kemudian pilih *next*.



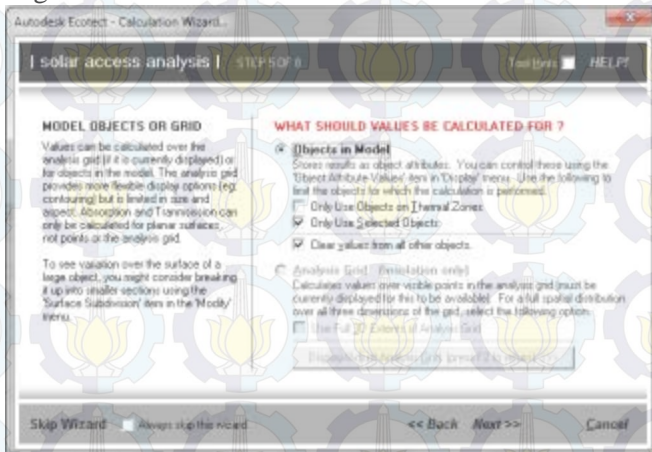
Kemudian pilih *for specified period* karena hanya akan melihat beban kalor pada rentang waktu penelitian saja



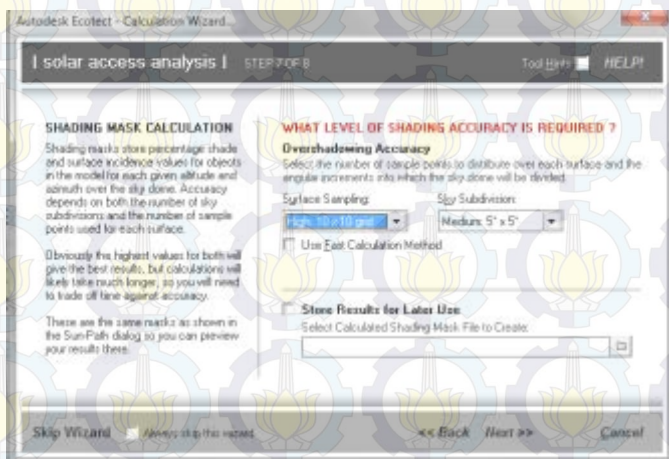
Pilih *average hourly value* untuk melihat beban kalornya



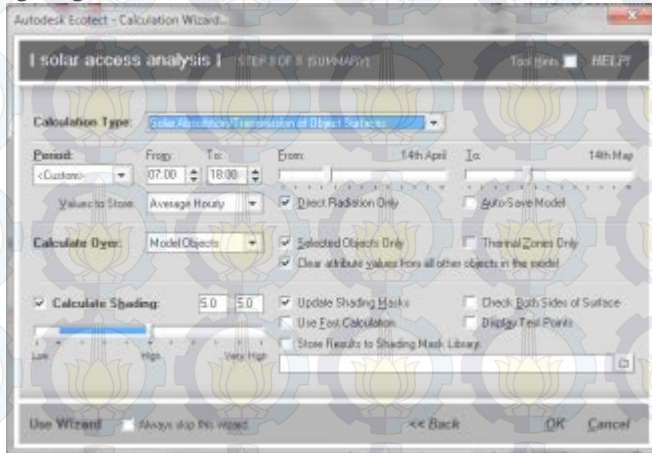
Karena tidak menggunakan alaisa *grid* maka memilih *object in model* dimana yang telah ditentukan di awal, yaitu bagian selubung.



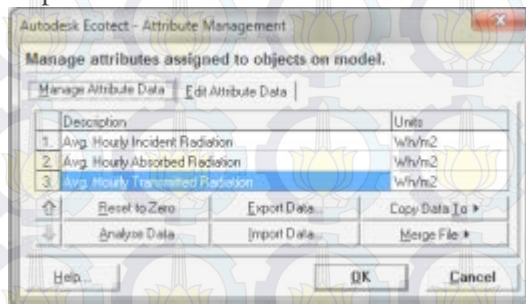
Kemudian selanjutnya adalah pemilihan kalkulasi untuk *shading*. Dimana dipilih kalkulasi *shading* yang detail (*perform detailed shading calculations*). Dan menentukan tingkat akurasi hasil simulasi, disini dipilih *surface sampling high* dan *sky subdivision* yang medium. Dalam hal ini masing-masing minimal haruslah *medium* agar hasil simulasi akurat.



Setelah melakukan langkah satu hingga tujuh maka akan tampil jendela seperti di bawah ini yang menampilkan hasil pilihan kita pada langkah-langkah *solar access analysis* sebelumnya. Dengan mengeklik OK maka simulasi akan berlangsung.

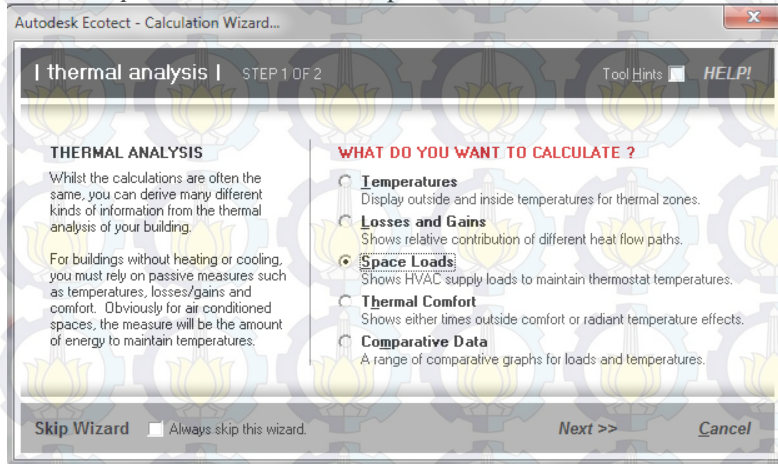


Setelah simulasi selesai, pilih *display setting*. Kemudian pada bagian *object attributes* pilih *properties*. Maka akan muncul kotak dialog seperti gambar dibawah ini, lalu pilih *analyze data* untuk menampilkan hasil simulasi.

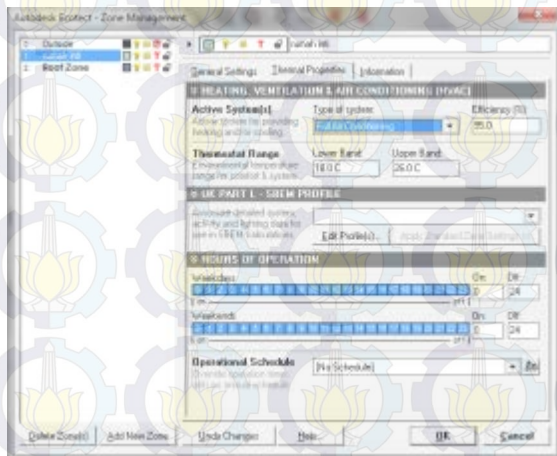
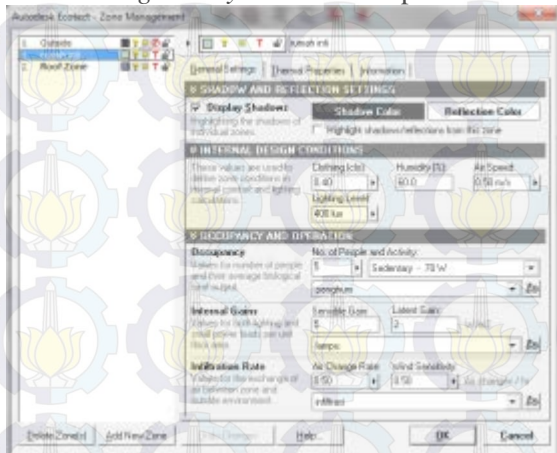


- **Simulasi *Cooling Load***

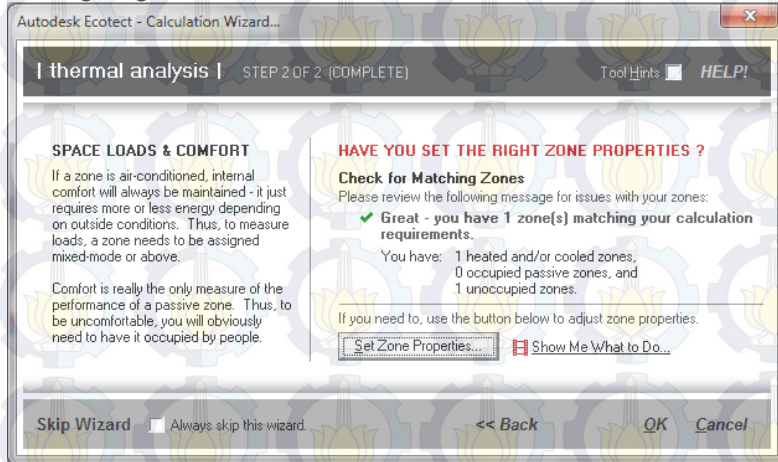
Untuk simulasi *cooling load*, hal pertama yang harus dilakukan adalah mengblok seluruh gambar objek. Kemudian pada kolom *calculate* memilih *thermal analysis*. Kemudian memilih *space loads*, kemudian pilih *next*



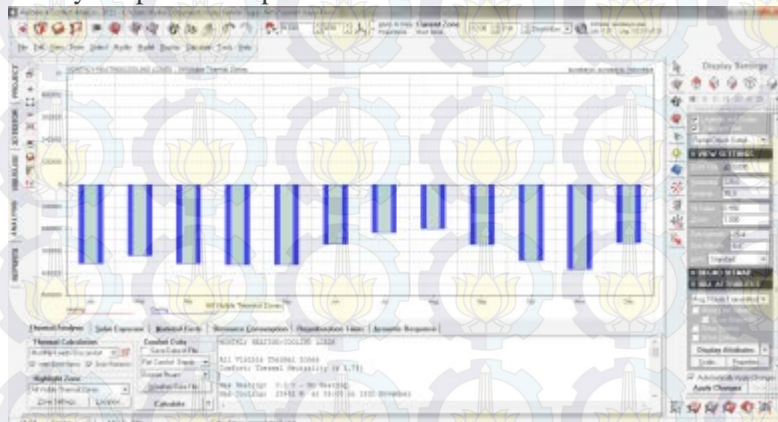
Kemudian memasukkan *zone management* pada bagian rumah inti. Dimana memasukkan kondisi desain internal, dan operasi dan penghuni seperti dalam kolom di bawah ini. Dimana jadwal disesuaikan dengan keadaan rumah hunian pada umumnya. Kemudian memilih *full conditioning* agar dapat disimulasikan *cooling loadnya*. Setelah itu pilih OK



Kemudian akan muncul kotak dialog seperti di bawah ini. Kemudian klik OK. Dan simulasi untuk hasil cooling load akan berlangsung.

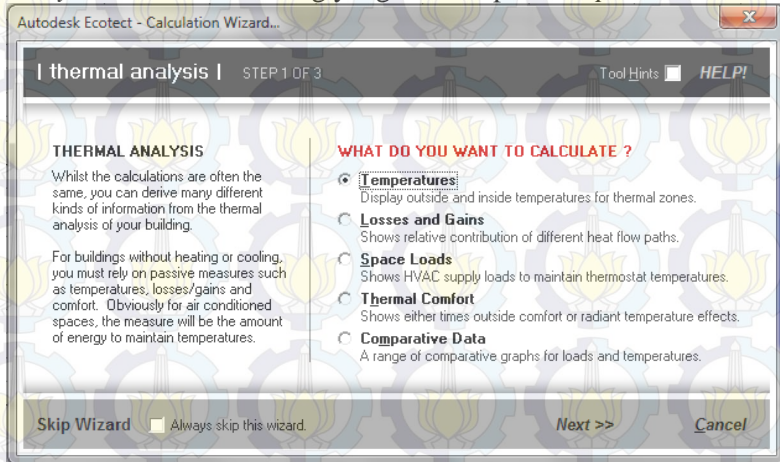


Hasil simulasi ditampilkan seperti pada gambar. Dimana untuk nilainya dapat dilihat pada kolom hasil.

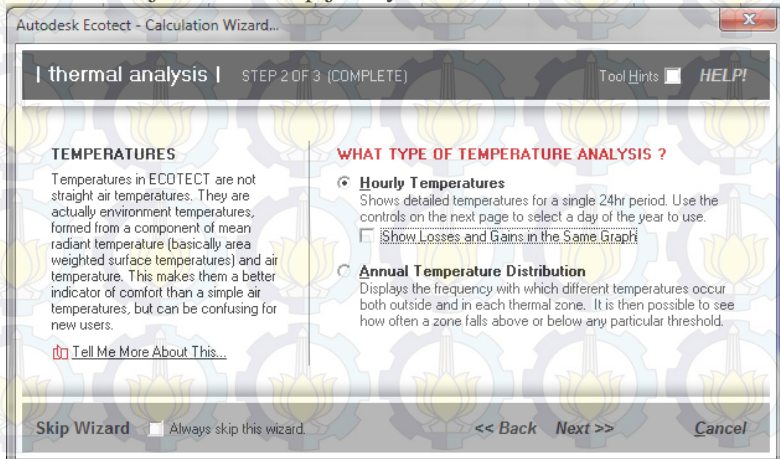


- Simulasi suhu bagian dalam rumah

Hal pertama yang dilakukan adalah mengeblok seluruh gambar objek. Kemudian pada kolom *calculate*, pilih *thermal analysis*. Pada kotak dialog yang muncul pilih *temperature*.



Kemudian memilih *hourly temperature* untuk mengetahui suhu dari objek rumah tiap jamnya.



[illegible]

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap **Rizky Nanda Puspitasari**, lahir di Kota Surabaya pada tanggal 25 Mei 1993 dan merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis melewati masa kecil yang berada di Kota Surabaya kemudian pindah ke Kabupaten Gresik, dengan menempuh pendidikan di SDN Sidokumpul II Gresik, SMP Negeri 1 Gresik, dan SMA Negeri 1 Gresik. Penulis kemudian menempuh studi ke ITS Jurusan Teknik Fisika pada tahun 2010 melalui jalur PMDK reguler dengan NRP 2410 100 011. Hingga pada tahun 2014 penulis akhirnya melaksanakan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Fisika dengan judul **“ANALISIS KENYAMANAN TERMAL DAN KONSUMSI ENERGI PADA RUMAH TIPE FASAD BATA DAN KAYU DI SURABAYA”**. Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik, atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui e-mail rizkikynanda@gmail.com.